

フォトニック結晶の開発と輻射場の制御

課題番号：10210101

平成10年度～平成13年度
科学研究費補助金（特定領域研究(B)）

研究成果報告書

平成15年3月

領域代表者 井上 久遠
北海道大学 電子科学研究所 名誉教授

フォトニック結晶の開発と輻射場の制御

課題番号：10210101

平成10年度～平成13年度
科学研究費補助金（特定領域研究(B)）

研究成果報告書

平成15年3月

領域代表者 井上 久遠
北海道大学 電子科学研究所 名誉教授

目 次

1. はしがき	1
1.1 研究目標	1
1.2 目標達成度、学会への貢献度	2
2. 研究組織と研究班の連携状況	5
2.1 研究組織	5
2.2 研究班の連携状況	9
3. 科学研究費補助金交付決定額（配分額）	11
3.1 特定領域研究 B(1)	11
3.2 特定領域研究 B(2)	11
4. これまでの主な研究成果（発明・特許を含む）	12
4.1 主な研究成果の概要	12
4.2 主な研究発表	16
4.3 主な特許、特許出願	18
4.4 研究成果の詳細	18
5. 領域として研究を推進したうえでの問題点と対応措置	55
6. 成果報告書に関して	56
7. 成果一覧	57
付録	
1. 本特定領域研究が主催した公開シンポジウム講演概要集の表紙.....	A1
2. 本特定領域研究において発行したニュースレターの表紙(目次を含む).....	A27
3. 本特例領域研究の成果公表に関連する国際会議 International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystals Structures (PECS)の概要と目次.....	A35
4. 本特定領域研究の成果公表に関連する新聞・雑誌等での紹介記事等.....	A48

1. はしがき

1.1 研究目標

研究背景 フォトニック結晶、すなわち屈折率が光の波長程度の周期で大きく変化する結晶中では光の状態は、屈折率が均一な場合と著しく異なる。そして、フォトニック結晶を用いると、原理的には光と物質（原子）との相互作用を自在に変えることができる。このため、フォトニック結晶による光の場の制御、すなわち輻射場および光の伝搬特性の制御は、科学全体への新しいパラダイムの創成とも言うべき可能性を秘めている。したがって、フォトニック結晶の研究は、新しい現象の探索など、物理学、量子光学、結晶光学などの基礎分野において重要なことは勿論であるが、光エレクトロニクス、光技術などの応用分野でも非常に重要である。たとえば、現代の社会を支えている情報技術のさらなる発展に寄与することが期待されている。新規な種々の素子の開発、および超小型で高速な光集積回路の開発に道を開く可能性があるからである。

しかるに、本特定領域研究が発足した時点におけるフォトニック結晶の研究の状況は、国際的にみても初期的段階の理論研究が先行して展開されてはいたが、光の領域の2次元、および3次元のフォトニック結晶試料は事実上まだ開発されていない段階にあった。したがって、フォトニック結晶試料を用いた光の領域の実験的研究はほとんど皆無であった。このような状況に鑑みて、下記の目標を設定して本特定領域研究を推進することにした。

本特定領域研究の目標は、種々のフォトニック結晶を開発し、輻射場と物質との相互作用の新しい形態を解明することにより、新しい光エレクトロニクスの基盤を構築することにある。より具体的には、6つの計画研究班で互いに連携して、新しい作製方法を考案することにより、2次元、および3次元の種々のフォトニック結晶を作製する。あらゆる方向、もしくは特定の方向にフォトニックバンドギャップをもつ2つのタイプの結晶、ならびに、ギャップ中に局在した光の状態、すなわち、モードをもつ結晶の開発もターゲットにする。これらの試料の光学特性を明らかにした上で、光の伝搬特性をも含めたフォトニ

ック結晶中の光と物質との相互作用に関して、新規な現象を中心として実験・理論の両面から解明を図る。これらの基礎研究に立脚して、ユニークな種々の素子の開発をも目指す。

1.2 目標達成度、学会への貢献度

研究目標を達成するために、本特定領域研究では、便宜上、基礎、試料開発、デバイス応用、の3つの研究項目を設定し、それぞれに2つの計画研究班、合計6つの計画研究班を組織した。実際には、本特定領域研究のスタート時には、国際的に見て光の波長領域におけるフォトニック結晶の試料は事実上、未だ開発されていない状況であったために、理論班を除いてどの研究項目でも試料の開発が最重要研究課題であった。したがって、第一段階では、各班の有機的な連携の下に多種多様な試料の開発を領域全体で推進することに重点をおいた。

4年間の研究期間を通じて、シンポジウムの企画、ニュースレターの定期的な発刊、および各班間の連携関係の構築などのために総括班を組織し、全体の円滑な運営のもとに領域研究を推進した。その結果、3. 主な研究成果の項にまとめたような、数多くの重要な成果が得られた。特筆すべき成果として、

- 1) 多くの特色ある2次元、および3次元結晶の開発、
- 2) 完全なバンドギャップをもつ3次元半導体フォトニック結晶の開発、
- 3) フォトニック結晶に関連した基礎的側面の理論的解明、および種々の新規な現象の理論的提案、
- 4) フォトニック結晶レーザーなど、輻射場の制御に関する多くの新しい現象の観測、
- 5) 光の伝搬特性の制御に関するいくつかの重要現象の観測、
- 6) フォトニック結晶と高速荷電粒子との相互作用—スミスパーセル効果の顕著な光増強—の観測、
- 7) いくつかの新規な素子の開発、
- 8) 超高速平面光集積回路の開発を可能にするフォトニック結晶導波路と超小

型の種々の素子の試作とその特性の解明、

9) サブミリ波領域における発光素子の開発を可能にする実験的知見の集積、
などが挙げられる。

その結果、“フォトニック結晶の開発”と“新しい光エレクトロニクスの基盤の構築”という領域全体の当初の2大目標は十分に達成することができた。

次に、学会への貢献という観点からは、本特定領域研究は国内外から大きな注目を浴びると同時に、学会に対して大きな貢献を果たした。国内では、定期的で開催した本特定領域研究の成果報告シンポジウム、ならびに、特定領域研究のメンバーが中心となって企画、開催した応用物理学会学術講演会（2回）、日本物理学会（1回）、電子情報通信学会（2回）のシンポジウムが、この分野の重要性の認識の拡大、および進展に大いに役立ったことは間違いない。いずれも、年々、主催者が驚くほど一般の参加人数が増大してきている事実から判断して、この分野の研究グループ、研究者の数、共に急増していることがわかる。この結果として、応用物理学会学術講演会ではフォトニック結晶のサブ分科会が設置されるに至り、最近では、たとえば平成14年9月の秋の講演会では3日間にわたって研究発表（62件）がなされた。なお、国内の関連した分野のいろいろな研究会・シンポジウムにおいて、特定領域研究のメンバーが招待講演を数多く行っている。

国際的には、この特定領域研究のメンバーが中心となり平成12年度に第2回フォトニック結晶の国際学会（PECS-II）[組織委員長：領域代表の井上と川上の共同担当]を日本で開催し、多くの著名な外国人研究者を招待講演に招聘した。この国際学会は、50名を越える外国人を含めて210人以上にのぼる参加者があるなど大変盛況であり、国内の若い研究者に大きな刺激を与えた。米国、日本、ヨーロッパの順で毎年開催されるこの国際学会において、日本の論文発表件数は全体の30%をしめており、この分野の日本の研究水準は高いと国際的に評価されている。この点でもこの分野において、この特定領域研究が果たした多くの先駆的な役割は高く評価されている。

同時に、他のフォトニック結晶関係の国際シンポジウム、および関連した国

際学会においても特定領域研究のメンバーが非常に多くの回数、招待講演を行うなど、国際的にもこの分野の発展に大いに貢献している。

なお、国内外での学会への貢献を別な形でみると、特定領域研究のメンバーによる、啓蒙のための多くの解説があり、また、受賞数もかなりの数に上っている。さらに、フォトニック結晶の英文専門書も出版されている。

2. 研究組織と研究班の連携状況

2.1 研究組織

研究組織は表に示したように、総括班と6計画研究班から構成されている。各班で担当した研究課題、および代表者、分担者の氏名、役割分担も表にあげてある。

なお、発足時には、6計画研究班、8研究機関からの16名の研究者、および3名の評価委員でスタートした。その後、この領域の予想外の急激な発展に伴って研究分野が広がったためと、また研究者の転出などのために、後半の2年間で構成メンバーの多少の入れ替え、変更を行った。その結果、平成12年度には、11研究機関から18名の研究者、5名の評価委員の構成となった。

	研究項目	計画研究班	研究代表者	研究課題
	総括	総括班	井上 久遠	「フォトリソグラフィと放射場の制御」の統括
A-1	基礎	ア班	井上 久遠 (岩井 俊昭： 平成13年度)	フォトリソグラフィにおける放射場と物質との相互作用
		イ班	大高 一雄	フォトリソグラフィの放射場に関する理論的研究
A-2	試料開発	ア班	野田 進	光波長域にバンドギャップをもつ半導体3次元フォトリソグラフィの開発
		イ班	馬場 俊彦	半導体2次元フォトリソグラフィの作製とレーザー作用
A-3	デバイス応用	ア班	青柳 克信	位相制御領域を有するフォトリソグラフィの作製とその光デバイスへの応用
		イ班	武田 三男	フォトリソグラフィ共振器を用いた高効率光混合サブミリ波発振器の開発

表 2.1 研究組織

氏名	所属機関・部局・職*	役割
井上 久遠	北海道大学・電子科学研究所・名誉教授	研究全体の総括(領域代表) A-1ア班・計画研究代表 (平成10年~12年度)
国府田隆夫	科学技術財団・さきがけ研究21「状態と変革」総括責任者	研究の評価
荒井 磁久	東京工業大学・量子効果エレクトロニクス研究センター・教授	研究の評価
荒川 泰彦	東京大学・国際産学共同研究センター・教授	研究の評価
川上彰二郎	東北大学・未来科学技術共同研究センター・客員教授	研究の評価 (平成12年度以降)
花村 榮一	千歳科学技術大学・教授	研究の評価 (平成12年度以降)
大高 一雄	千葉大学・先進科学センター・教授	A-1イ班・計画研究代表
野田 進	京都大学・工学研究科・教授	A-2ア班・計画研究代表
馬場 俊彦	横浜国立大学・工学研究科・助教授	A-2イ班・計画研究代表
青柳 克信	東京工業大学・理工学研究科・教授	A-3ア班・計画研究代表
武田 三男	信州大学 理学部 教授	A-3イ班・計画研究代表
迫田 和彰	北海道大学・電子科学研究所・助教授	事務的業務 (平成10~12年度)
岩井 俊昭	北海道大学・電子科学研究所・助教授	事務的業務 (平成13年度以降) A-1ア班・計画研究代表 (平成13年度)

表 2.2 総括班 (*平成14年3月現在)

氏名	所属機関・部局・職*	課題
井上 久遠†	北海道大学 電子科学 研究所・名誉教授	研究の総括フォトニック結晶の設計, および相互作用の解明
岩井 俊昭 (平成13年度～ 研究代表者)	北海道大学 電子科学 研究所・助教授	3次元結晶の作製・特性評価と新しい現象の探索
川俣 純	北海道大学 電子科学 研究所・助手	フォトニック結晶における非線形相互作用の研究
浅川 潔	技術研究組合フェムト 秒テクノロジー研究機 構・主任研究員	微細加工技術による半導体試料の作製
山中 明生	千歳科学技術大学・助 教授	フォトニック結晶の特性解明(平成10年度)

表 2.3 A-1 ア班 (*平成14年3月現在、†研究代表者)

氏名	所属機関・部局・職*	課題
大高 一雄†	千葉大学・先進科学セ ンター・教授	研究の総括と研究の目的(1)、(2)に関する実施計画の実行
迫田 和彰	北海道大学・電子科学 研究所・助教授	研究の目的(1)、(3)に関する実施計画の 実行
植田 毅	千葉大学・総合メデ ィア基盤センター・助 教授	研究の目的(1)、(3)に対する実施計画 の実行

表 2.4 A-1 イ班 (*平成14年3月現在、†研究代表者)

氏名	所属機関・部局・職*	課題
野田 進†	京都大学・工学研究 科・教授	研究統括とフォトニック結晶設計・作 製・評価
山本 宗継	電子技術総合研究 所・研究員	フォトニック結晶作製(特に成長と微 細加工)と評価(平成10,11年度)
王 学論	電子技術総合研究 所・研究員	フォトニック結晶作製(特に成長と微 細加工)と評価(平成12,13年度)

表 2.5 A-2 ア班 (*平成14年3月現在、†研究代表者)

氏名	所属機関・部局・職*	課題
馬場 俊彦†	横浜国立大学・工学研究科・助教授	研究の総括とフォトニック結晶の設計と半導体加工技術の確立、およびレーザーの作製・評価
益田 秀樹	東京都立大学・工学研究科・助教授	陽極酸化アルミナマスクの均一形成と大面積化による2次元結晶の作製(平成12年度以降)
荒川 太郎	横浜国立大学・工学研究科・助手	半導体成長技術の確立、および表面非発光効果低減法の確立

表 2.6 A-2 イ班 (*平成 14 年 3 月現在、† 研究代表者)

氏名	所属機関・部局・職*	課題
青柳 克信†	東京工業大学・理工学研究科・教授、理化学研究所・主任研究員、(併任)	研究の総括と半導体フォトニック結晶の開発、および特性評価
瀬川勇三郎	理化学研究所・光物性研究チーム・チームリーダー	ミリ波領域フォトニック結晶作製とマイクロ波応答測定 およびにスミーパーセル効果の検証実験
平山 秀樹	理化学研究所・半導体工学研究室・研究員	半導体フォトニック結晶作製と光学性測定、およびデバイス応用
新谷 紀雄	金属材料技術研究所・第5研究グループ・総合研究員	マイクロプレートの積層(平成12年度以降)

表 2.7 A-3 ア班 (*平成 14 年 3 月現在、† 研究代表者)

氏名	所属機関・部局・職*	課題
武田 三男†	信州大学・理学部・教授	フォトニックバンド構造の決定、フォトニック結晶共振器の設計試作、非線形光学発振器、磁束フロー発振器の試作、測定解析および評価
谷 正彦	郵政省通信総合研究所・関西先端センター・主任研究員	非線形光学及び光伝導スイッチ発振器の設計、フォトニック結晶共振器の設計、測定解析および評価

表 2.8 A-3 イ班 (*平成 14 年 3 月現在、† 研究代表者)

2.2 研究班の連携状況

(1) 領域の運営形態と班間の研究協力体制

総括班会議を各年度2回開催し、各班の研究の進捗状況、研究成果、班間の協力状況を把握し、これらの調整を行った。また、各年度2回の公開シンポジウムの企画、ニュースレターの発行、種々の成果報告書の発行、配布も担当した。

(2) 公開シンポジウム、ニュースレターの発刊、等による連携の促進

各班間の連携体制を強化し、研究の一層の促進を図るために、各年度2回、合計8回の総括班会議、ならびに各年度2回、4年間で合計7回の成果報告公開シンポジウムの開催、さらに情報交換のための第7号までのニュースレターの発刊を行った。公開シンポジウムについては付録にプログラムを掲載してある。構成メンバー全員の参加を原則とした公開シンポジウムは、各班の研究成果発表、および徹底した討論を通じて専門分野の異なる研究者の相互理解と連携研究を促進する上で非常に大きな効果があった。実際に、いろいろな形で各班間での共同研究が実施され、共同で出した論文はかなりの数に上っている。特に、5つの実験班では、程度の差こそあれ基本的には理論班（A1イ班）のサポート・バックアップが不可欠であった。事実、理論班がその役割を担ってきたことが、領域全体として多くの画期的な成果をあげることができた一つの大きな要因となった。また、フォトニック結晶の試料作製には、かなりの部分、半導体微細加工技術のノウハウが必要であったが、この点に関しても各班でノウハウを交換・共有した事実が役にたった。

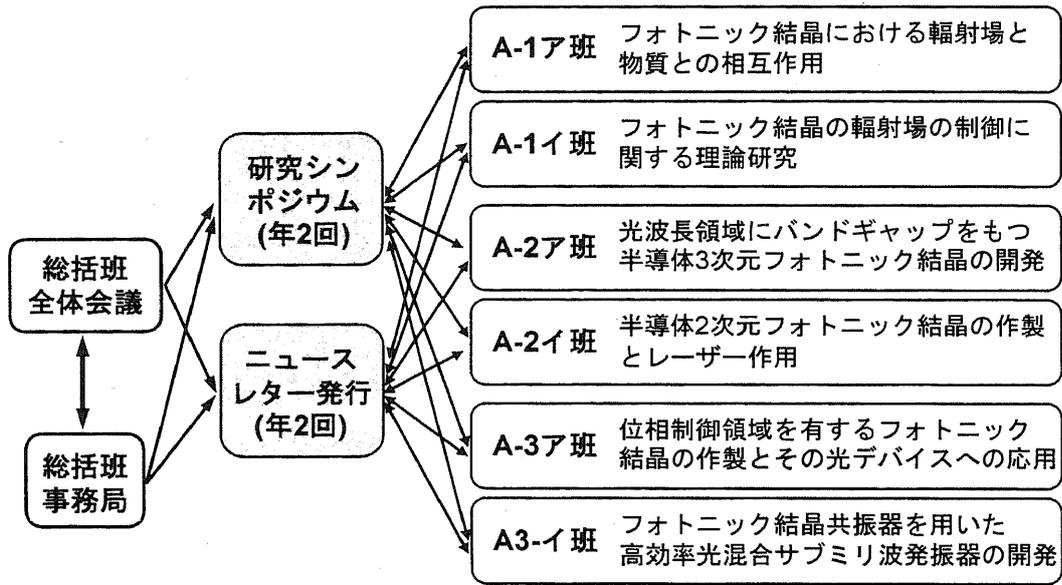


図 2.1 領域の運営形態

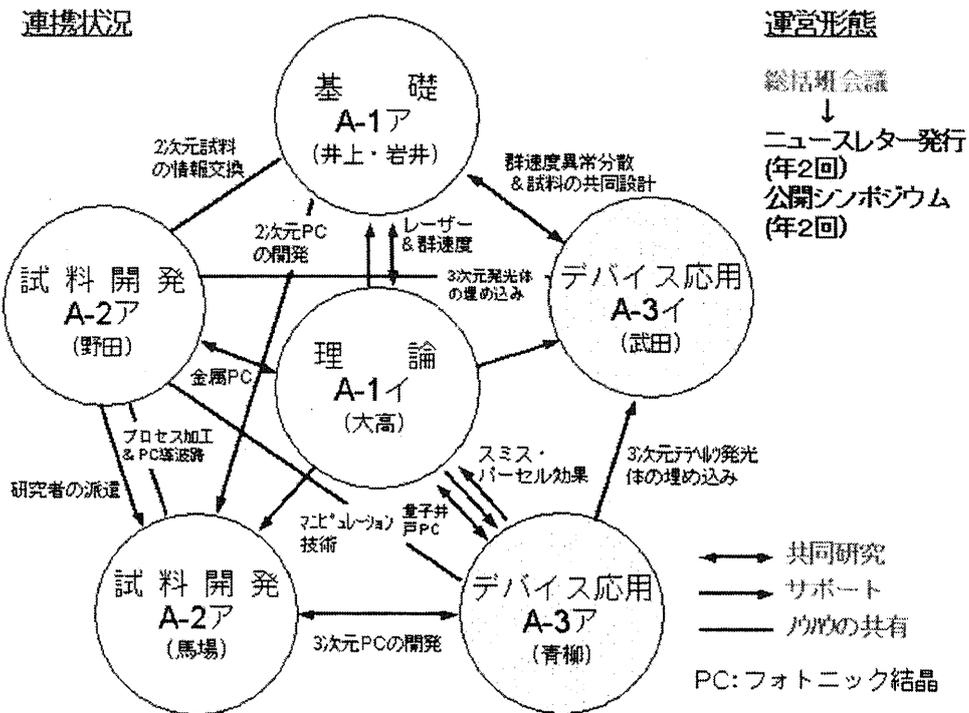


図 2.2 班間の連携・協力関係

3. 科学研究費補助金交付決定額（配分額）

3.1 特定領域研究 B(1)

(千円)

年度	直接経費	間接経費
平成 10 年	1,800	0
平成 11 年	3,200	0
平成 12 年	3,200	0
平成 13 年	3,400	0
平成 14 年	1,500	0

3.2 特定領域研究 B(2)

(千円)

年度	A-1 ア班		A-1 イ班	
	直接経費	間接経費	直接経費	間接経費
平成 10 年	22,500	0	1,400	0
平成 11 年	24,500	0	6,400	0
平成 12 年	10,800	0	1,600	0
平成 13 年	6,800	0	1,000	0

年度	A-2 ア班		A-2 イ班	
	直接経費	間接経費	直接経費	間接経費
平成 10 年	23,000	0	18,500	0
平成 11 年	22,200	0	17,100	0
平成 12 年	22,200	0	15,750	0
平成 13 年	13,200	0	13,500	0

年度	A-3 ア班		A-3 イ班	
	直接経費	間接経費	直接経費	間接経費
平成 10 年	17,000	0	9,000	0
平成 11 年	14,700	0	6,700	0
平成 12 年	16,400	0	6,400	0
平成 13 年	13,500	0	4,000	0

4. これまでの主な研究成果（発明・特許を含む）

4.1 主な研究成果の概要

A-1 班

- 1) AlGaAs のエアブリッジ型スラブ結晶を作製し、2次元面内で広いバンドギャップを示すことなどの基本特性を解明し、輻射場および光の伝搬特性の制御のために優れた特性を示すことを実験的に初めて明らかにした。
- 2) 上記の結晶に線欠陥を導入して、直線、急峻曲がり、Y分岐、方向性結合器、などの導波路素子を光通信波長領域で設計・作製し、透過スペクトルの観測によりギャップ中の特定の波長でのみ導波モードが存在し、かつ殆ど損失なく導波する事実を定量的に始めて実証した。なお、関連して、250 nm 程度の薄い試料で、広い波長領域に亘って、かつ短時間で透過スペクトルを測定できる画期的装置、評価手段を開発した。
- 3) 光の圧力を利用する独創的な方法により、直径 $1\mu\text{m}$ のポリスチレン球を規則的に配列させた3次元結晶を作製し、優れた特性を示す事実を明らかにした。
- 4) 独自に開発したガラス・キャピラリ通常型の2次元結晶を用いて光励起法によりレーザー作用を世界最初に観測した。群速度の小さい波長に対応して、しきい値の低いレーザー作用である。
- 5) 上記結晶の穴に微結晶を導入した第2高調波発生実験において、位相整合が容易に取れること、および小さい群速度の波長で信号増強効果の存在を実証した。
- 6) スラブ型試料の分散が平坦なバンドにおける群速度をフェムト秒光パルス飛行法で測定し、群速度が空気中に比べて2桁程度小さくなる重要な事実を見出した。
- 7) どのようなフォトニック結晶系に対してもバンド構造の計算が可能になるような、FDTD（時間領域有限差分）法に基づくバンド計算法のアルゴリズムを完成させた。
- 8) フォトニックバンドの計算法として、スラブ型の系のバンド構造、状態密度、

モードの寿命の計算法を確立させた。また、実験との比較によりその有効性を確かめた。

- 9) 金属フォトリック結晶の特徴をバンド構造と光応答の観点から理論的に明らかにした。
- 10) フォトリック結晶中の誘導放出とレーザー発振について、群速度の小さいバンドの共鳴励起の有効性を示す理論的定式化を行い、実験への提言をした。また、スラブ型の系について、バンド構造とレーザー発振のしきい値の関係を具体的に与えた。
- 11) フォトリック結晶を舞台にした物理過程・現象として、スミス・パーセル放射、および電磁場のスクイーミングの取り扱い法を開発し、フォトリック結晶の有用性を示した。
- 12) フォトリック結晶中の電磁場の量子論を構築した。また、量子光学、特に超放射現象の理論を定式化し、新しい側面を検討した。
- 13) なお、フォトリック結晶をめぐる様々な物理過程・現象の解明に基づき、実験への多くの提案を行った。

A-2 班

- 1) ウエハ融着法により半導体を材料にして、全方位に完全なバンドギャップをもつ世界最初の3次元フォトリック結晶の開発に成功した。光通信波長帯にバンドギャップを有する、わずか8周期構造の結晶で、バンドギャップの減衰が40dBに達することを明らかにした。
- 2) 上記の結晶に線欠陥を導入し、急峻な曲がりをもつ3次元構造の導波路を巧妙に設計し、実際に試料を作製した。広いバンド幅をもち、かつほとんど導波損失がないことを実証した。
- 3) 3次元フォトリック結晶中に発光素子を埋め込み、それからの発光が完全バンドギャップにより抑制されることを実証した。
- 4) 2次元スラブ型 InGaAsP フォトリック結晶をベースにした電流注入型構造の試料を設計・作製し、いくつかの等価なフォトリックバンドの結合により面に垂直方向にレーザー光が発生する新しいタイプのレーザー作用を観測

した。

- 5) 3次元結晶中に単一欠陥を導入した、微小共振器を設計し、波長チューニング範囲が広く、モード分離も大きく、かつQ値が高い事実を明らかにした。また、実験的にも、いくつかの単一欠陥共振器の導入に成功し、実際に外部へ発光を取り出すことに成功した。
- 6) 2次元スラブ型フォトニック結晶の線欠陥からなる導波路とその近傍に点欠陥を設けた超小型のチャンネルドロップ光フィルターを設計し、その基本動作の実証に成功した。
- 7) 誘導結合プラズマエッチングを用いた GaInAsP/InP によるスラブ型フォトニック結晶の作製プロセスを確立し、サブミクロン周期で10以上の高アスペクト比の試料を作製した。
- 8) 上記の結晶に対して位相差蛍光寿命測定を行い、非発光過程が支配的である事実、および自由空間への光取り出し効率が一般的なスラブと比較して20倍以上に高まる重要な事実を見出した。
- 9) 上記と関連して、非発光過程はメタンプラズマ照射により大幅に低減できることを見出し、また、光取り出し効率に関しては非発光過程を回避できる表面回折格子型素子を提案、実証した。
- 10) GaInAsP および SOI スラブ型結晶に形成された線欠陥導波路を作製し、光通信波長帯における動作を初めて実証した。同時に、時間領域有限差分法を用いたバンド計算により、エアブリッジ構造が最適であることを明らかにし、実験と理論がよく対応することを実証した。
- 11) フォトニック結晶のスーパープリズム効果等を理論的に検討し、結晶外でも大きな光偏向角が得られる構造の提案、および外部とフォトニック結晶の結合に関して突起型入出射端を用いた反射損失の低減を明らかにした。
- 12) 陽極酸化法を用いて、様々な材料による通常型2次元フォトニック結晶を開発した。
- 13) スラブ型結晶に局所欠陥を導入した極微小共振器を設計し、パルス室温光励起によりレーザー発振を観測した。また、点と線を組み合わせた複合欠陥で

もレーザー発振を得た。

A-3 班

- 1) エアブリッジ型フォトニック結晶プレートを積層させて3次元結晶を作製する新しい方法を提案し、試作した。InP系を材料にしてプレートを作り、電子顕微鏡下でマイクロマニュピュレーション技法を用いて完全ギャップをもつ構造の3次元結晶を作製した。内部に欠陥を容易に作れる方法である。
- 2) オートクローニング法を駆使して $\text{SiO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ の組み合わせによる可視および紫外領域の3次元フォトニック結晶を作製した。
- 3) 光機能材料の探索と検証のために、ミリ波領域におけるフォトニック結晶を作製し、詳しい知見をえた。量子井戸型の結晶において、井戸層の内部の電界を測定し、バリア層に対応するフォトニック結晶の全反射領域に鋭い透過構造を観測して量子井戸の存在を明らかにした。
- 4) フォトニック結晶によるスミス・パーセル効果の世界最初の観測に成功した。高速電子ビームを結晶表面に平行に飛行させることによりコヒーレントな光が発生すること、および通常の回折格子に比べて信号の共鳴増強効果がある事実などを見出した。この結果は、サブミリ波領域の新しい光源の開発に道を開く大きな成果である。
- 5) サブミリ波領域の素子開発の基礎研究として、種々のフォトニック結晶を作製し THz 時間領域分光法を用いて位相シフトの周波数依存性およびバンドの分散関係を決定した。特に、有限の長さの試料において、バンド端の他にバンド内部でも群速度が周期的に非常に遅くなることを見出した。
- 6) ZnTe を Si の擬単純立方格子ではさんだ局在モードをもつフォトニック結晶を作製し、ZnTe にフェムト秒パルス光を照射して非線形光学効果に基づき THz 電磁波の発生を観測した。
- 7) 不純物による共振器としてフォトニック結晶中に光伝導アンテナスイッチ素子を埋め込んだ試料を作製し、CW 差周波光混合により発生した THz 電磁波の放射パワーの周波数依存性を調べ、共振器効果により特定の波長において電磁波が効率良く発生する事実を明らかにした。その結果、上記結果と併

せて、サブミリ波帯の新しい発光素子の開発に道を開いた。

- 8) 光造形法を世界で初めて用いて、酸化チタンを分散させた光硬化樹脂により THz 帯のダイヤモンド構造のフォトニック格子を作製した。完全バンドギャップをもつ結晶である。
- 9) 二重周期のストリップラインのサブミリ波フォトニック結晶を作製し、電磁波の伝搬特性の制御が可能であることを明らかにした。

4.2 主な研究発表

これまでの具体的な研究成果は、英文の専門誌、および国際会議等に多数の学術論文として発表されている。ここでは、1) 学術論文、2) 国際会議における発表、3) a. 国内の学会発表、b. 研究会・シンポジウムにおける発表、4) 解説、5) 単行本、として整理して各班ごとにまとめて掲載してある。平成 15 年 2 月の時点で、学術論文数：126 件、国際学会の招待講演：56 件、国際学会の一般講演：117 件、国内の学会等における招待講演：99 件、解説：63 件、新聞等のマスコミに取り上げられた件数：54 件、学術書（独立の単行本）：1 件、である。これらの件数は今後も多少は増加する見込みである。

以下に、主な論文等の一覧表を掲げる。

- 1) N. Kawai, **K. Inoue**, **K. Asakawa** et al., “Confined Band Gap in an Air-Bridge Type of Two-Dimensional AlGaAs Photonic Crystal,” *Physical Review Letters* Vol. **86**, 2289-2292 (2001).
- 2) **T. Iwai**, K. Ishii, and **K. Inoue**, “Optical fabrications of ordered polystyrene particles using radiation pressure and self-organization,” *Proceedings of SPIE Symposium on Photonics Technology in the 21th Century (Singapore, 2001-11)*, **4598** (SPIE, Washington, 2001-9) 94-100.
- 3) **K. Inoue**, N. Kawai, Y. Sugimoto, N. Carlsson, N. Ikeda, and **K. Asakawa** et al., “Observation of small group velocity in two-dimensional AlGaAs-based photonic crystal slab,” *Physical Review B*, **65**, No. 11,121308(R), 1-4 (2002).
- 4) **K. Ohtaka**, Y. Suda, S. Nagano, **T. Ueta**, A. Imada, T. Koda, J. S. Bae, K. Mizuno, S. Yano, and **Y. Segawa**, “Photonic band effects in a two-dimensional array of dielectric spheres in a millimeter wave region,” *Physical Review B*, **61**, 5267 (2000).
- 5) R. Shimada, T. Koda, **T. Ueda**, and **K. Ohtaka**; “Strong localization of Bloch photons in dual-periodic dielectric multilayer structures,” *J. Applied Physics*, **90**, 3905-3909 (2001).
- 6) **K. Ohtaka**, and S. Yamaguchi, “Smith-Purcell radiation from a charge running near

- the surface of a photonic crystal,” *Optical and Quantum Electronics* **34**, 135-150 (2002).
- 7) T. Ochiai and **K. Sakoda**, “Dispersion relation and optical transmittance of a hexagonal photonic crystal slab,” *Physical Review B*, **63**, 15, 125107, 1-7 (2001).
 - 8) **K. Sakoda**, N. Kawai, T. Itoh, A. Chutinan, **S. Noda**, T. Mitsuyu, and K. Hirano, “Photonic bands of metaric systems. I. Principle of calculation and accuracy,” *Physical Review B*, **64**, 045116, 1-8 (2001).
 - 9) T. Itoh and **K. Sakoda**, “Photonic bands of metallic systems. II. Features of surface plasmon polaritons,” *Physical Review B*, **64**, 045117, 1-8 (2001).
 - 10) M. Imada, **S. Noda**, A. Chutinan, T. Tokuda, M. Murata, and G. Sasaki, “Coherent Two-Dimensional Lasing Action in Surface-Emitting Laser with Triangular-Lattice Photonic Crystal Structure,” *Applied Physics Letters*, **75**, 316-318 (1999).
 - 11) **S. Noda**, A. Chitinan, and M. Imada, “Trapping and Emission of Photons by a Single Defect in a Photonic Bandgap Structure,” *Nature*, **407**, 608-610 (2000).
 - 12) **S. Noda**, K. Tomoda, N. Yamamoto, and A. Chutinan, “Full Three-Dimensional Photonic Bandgap Crystals at Near-Infrared Wavelengths,” *Science*, **289**, 604-606 (2000).
 - 13) **S. Noda**, M. Yokoyama, M. Imada, A. Chutinan, and M. Mochizuki, “Polarization Mode Control of Two-Dimensional Photonic Crystal Laser by Unit Cell Structure Design”, *Science* (2001).
 - 14) **T. Baba**, N. Fukaya, and J. Yonekura, “Observation of light transmission in photonic crystal waveguides in bends,” *Electronics Letters*, **27**, 8, 654-655 (1999).
 - 15) **T. Baba**, K. Inoshita, H. Tanaka, J. Yonekura et al., “Strong enhancement of light extraction efficiency in GaInAsP 2-D photonic crystal of columns,” *IEEE/OSA J. Lightwave Technology*, **17**, 2113-2120 (1999).
 - 16) **T. Baba**, N. Fukaya, and A. Motegi, “Clear correspondence between theoretical and experimental light propagation characteristics in photonic crystal waveguides,” *Electronics Letters*, **37**, 761762 (2001).
 - 17) S. Yano, **Y. Segawa**, J. S. Bae, K. Mizuno, H. Miyazaki, **K. Ohtaka**, and S. Yamaguchi, “Quantized states in single quantum well structure of photonic crystal,” *Physical Review B*, **63**, 153316 (2001).
 - 18) K. Aoki, H. T. Miyazaki, **H. Hirayama**, K. Inoshita, **T. Baba**, **N. Shinya**, and **Y. Aoyagi**, “Three-dimensional photonic crystals for optical wavelengths assembled by micromanipulation”, *Applied Physics Letters*, **81**, 3122-3124 (2002).
 - 19) T. Aoki, **M. Wada-Takeda**, J. W. Haus, Z. Yuan, **M. Tani**, K. Sakai, N. Kawai, and **K. Inoue**, “Terahertz time-domain study of a pseudo-simple-cubic photonic lattice”, *Physical Review B*, **64**, 04202, 1-5 (2001).
 - 20) H. Kitahara, N. Tsumura, H. Kondo, **M. Wada-Takeda**, J. W. Haus, Z. Yuan, N. Kawai, **K. Sakoda**, and **K. Inoue**, “Terahertz wave dispersion in two-dimensional photonic crystals,” *Physical Review B*, **64**, 045202, 1-7 (2001).
 - 21) S. Kitahara, Y. Miyamoto, K. Takenaga, **M. Wada-Takeda**, and K. Kajiyama, “Fabrication of Electromagnetic Crystals with a Complete Diamond Structure by Stereolithography,” *Solid State Communications*, **121**, 435-428 (2002).

4.3 主な特許、特許出願

- 1) 野田 進:「3次元フォトニック結晶の製造方法及び製造装置」(米国特許出願:09/757705)
- 2) 野田 進:「3次元フォトニック結晶導波路」(特願 199-246074)
- 3) 野田 進:「2次元フォトニック結晶導波路および波長分波器」(特願:2000-084869, 欧州 011-06812-9)
- 4) 馬場俊彦、谷 武晴:「光素子」(特願:2000-265433)
- 5) 馬場俊彦、谷 武晴:「光素子、光合成素子及び走査装置」(特願:2000-265434)
- 6) 青木画奈、平山秀樹、青柳克信、宮崎秀樹:「3次元フォトニック結晶および製造装置ならびにプローブ」(特願:2001-228287)
- 7) 武田三男、西沢誠治:「単色パルス励起によってフォトニック結晶部材から放射される白色電磁波を光源とする分光測定装置」(特願:2002-081810)

4.4 研究成果の詳細

A-1 ア班 「フォトニック結晶における輻射場と物質との相互作用」

a. 研究の概要

特定領域研究 (B) の申請当時は、国際的にみてもフォトニック結晶の試料の開発はまだほとんど進んでいなかった。この研究計画班の研究目的である「フォトニック結晶における輻射場と物質との相互作用の基礎的研究」のためにも、試料を独自に開発することが不可欠であった。したがって、目標は、1) 新規な試料の開発と、2) 相互作用の研究、の二つに大別してあった。1) に関しては、当初の計画どおり、非半導体2次元試料、半導体2次元スラブ型試料、ならびに3次元配列球試料の開発に成功した。開発した試料に関しては、それぞれについてその基礎的特性を実験、理論の両面から詳細に解明した。特に、エアブリッジ型スラブ結晶の基礎特性を世界最初に実験的に解明できたのは大きな成果である。一方、計画書では半導体系3次元結晶の開発を予定していたが、成功するまでには至らなかった。2) に関しては、レーザー作用の観測、超短パルス光による低群速度の測定、非線形光学現象の観測は、計画通り

実施して成果をあげることができた。ただ、非線形光学現象の観測については、光第二高調波信号の観測実験のみで、やや不十分な成果といえる。新規な相互作用の研究の一環として、デバイスの開発も念頭において、フォトニック結晶導波路の基礎研究を集中的、かつ徹底的に実施して、大きな成果をあげた。

以上をまとめると、当初目標の達成度としては80%程度であるが、この分野の国際的かつ急速な進展との関連で新たに追加、設定した課題も含めると、全体としての研究成果は十分なものと考えている。

b. 主な研究成果

2次元非半導体フォトニック結晶

一つの偏光（H偏光）に対して2次元面の全方位にわたって、光・近赤外の波長領域にフォトニックバンドギャップをもつ世界最初の2次元結晶を開発した。すなわち、およそ100万本の鉛ガラス・ファイバーを規則正しく配列して引き伸ばし、短く切断した後にコア部分のみを塩酸で溶かすことにより、エアロッド型2次元結晶を作製した。ファイバーの中心軸に垂直な面がフォトニック結晶面を形成する2次元三角格子である。試料長が1mm程度で、格子定数 a が800 – 1020 nmの範囲の種々の試料を作製して、後半で述べる相互作用の研究に用いた。

2次元スラブ型半導体フォトニック結晶

半導体微細加工技術を駆使してスラブ（導波路）型結晶、すなわち、 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ をコア層、 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ を下のクラッド層（上のクラッド層は空気）とする光導波路を作り、これをベースにして配列した穴を開けることにより、コア層がフォトニック結晶として機能する2次元三角格子試料を作製した。穴を開けたためにコア層の平均屈折率がクラッド層より小さくなり、全反射により面内に光が閉じ込められなくなることを避けるために、下のクラッド層をエッチングで除去したエアブリッジ構造（AB型）（図3.1に示す）、クラッド層を酸化して屈折率の小さい Al_xO_y に変えた酸化クラッド型（OC型）、およびクラッド層まで穴を貫通させた通常半導体型（SC型）の3種類を開発して（図3.1を

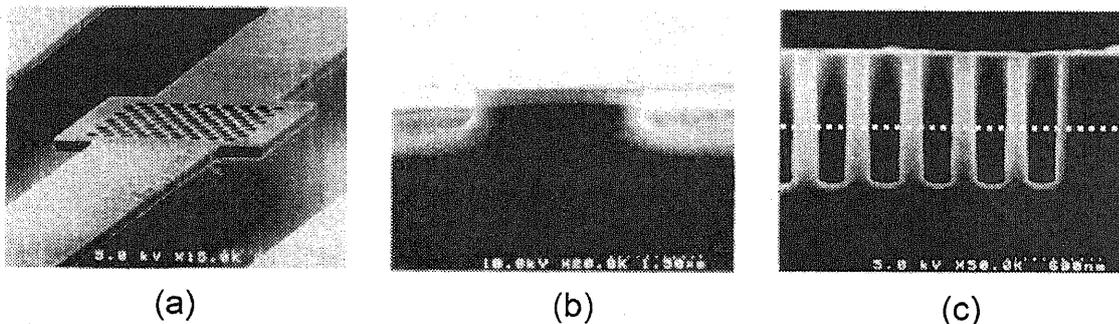


図 3.1. 2次元フォトニック結晶スラブの作製例: (a) エアブリッジ型、(b) 酸化クラッド型、(c) 通常型。

参照)、それらの特性を比較した。格子定数 a は $300 - 500\text{nm}$ 、コア層の厚さ d は $250 - 450\text{nm}$ 程度であり、穴の列数 N に関して $10-100$ の範囲で種々の N をもつ多数の試料を作製した。なお、フォトニック結晶部分の両側に光の入出力のための光導波路がついている。これらの3種類の試料のフォトニックバンド構造、ならびに光学特性を、波長可変のチタンサファイア・レーザーと、先端をレンズに加工した偏波面保存の単一モード・ファイバーを用いる透過スペクトル測定系を世界最初に開発して解明した。その結果、AB型構造の試料が輻射場（光）の制御に最も優れた特性を有する事実を世界で初めて実験的に明らかにした。

3次元配列球結晶

波長程度のサイズの微粒子のコロイド溶液で発現するコロイド結晶化現象を制御し、微粒子の3次元結晶構造体を創製する技術を開発した。微粒子の沈殿と乾燥という非制御的過程に依存していた従来法における周期構造の欠損の発生や関層構造の非制御性を克服することが目的である。本提案手法では、照射レーザービームの電気勾配力による微粒子の捕獲とビ

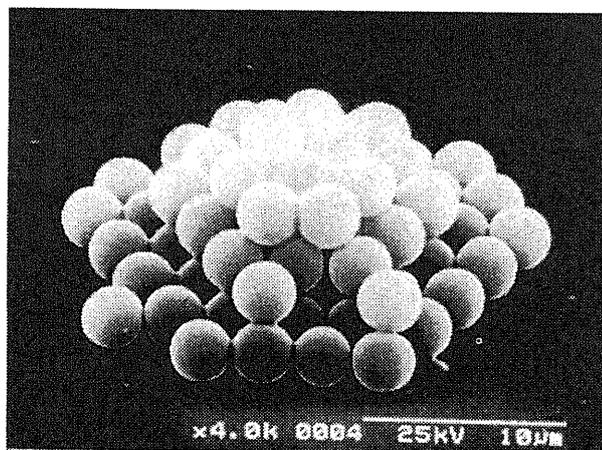


図 3.2. コロイド微粒子の3次元結晶構造体の創製例。

ーム内の微粒子に印加される散乱力により、微小領域内に拘束された微粒子の自己配列現象と照射レーザーの発熱作用による乾燥過程で生じる微粒子の自己集積現象を有機的に利用することが特徴である。図 3.2 には、本手法により創製された直径 3 μm ポリスチレン球の 3 層構造体の SEM 像である。現段階では、創製過程を視認観測しながら基礎的な技術開発を行なっており、波長程度の微粒子の構造体創製へ順次ダウンサイジングしていく。さらに、任意の形状穴に微粒子を配列・充填する技術に展開させることにより、導波路中に任意の機能的光回路素子を形成する技術の開発に発展させる。

局在モードをもつ結晶

エアブリッジ型、並びに酸化クラッド型のスラブ結晶の双方で、それぞれ Γ -K 方向の一系列の穴を除去した構造、すなわち、線欠陥の局在モードを基本にした様々な試料（素子）を設計して、作製した。これらの試料は、ギャップ閉じ込みによる局在・固有モードとして、特に波長程度で急激に曲げても光が殆んど損失なく伝搬する可能性をもっている。このために、新しいタイプの極微小の光導波路、およびそれを基した光集積回路用の種々の素子の開発が期待されている。線欠陥に新たに小さい穴の列を開けたものなど、種々の構造、並びに 2-8 回の 60 度曲がり、信号分離器（スプリッター）、方向性結合器などのいろいろな受動素子の試料を作製した（図 3.3 に作製例の電子顕微鏡写真を示す）。それぞれの特性、すなわち、フォトニック結晶導波路と光との相互作用については後述する。

小さな群速度の直接観測

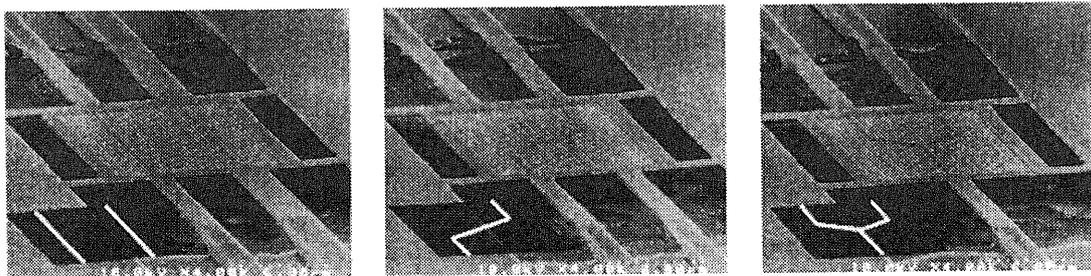


図 3.3. フォトニック結晶スラブ導波路素子：直線（左）、60°曲がり（中）、Yスプリッター（右）。

フォトニック結晶では一般に多くの波長領域で小さな群速度を示す。このような波長領域を利用すれば光と物質との単位長さあたりの相互作用の強さは極端に大きくなるために、多くの物理現象の観測、ならびに光エレクトロニクス素子の開発の上で重要である。前述の AB 型と SC 型の双方の有限の長さのスラブ結晶試料で、それぞれに比較的平坦な分散をもつバンドを対象にして、フェムト秒パルス光の伝搬（飛行）時間測定により小さな群速度を世界で初めて観測することに成功した。パルス波形が歪まない平坦なバンドで空気中の値に比べて 0.1 – 0.05 の非常に小さい群速度の値を観測し、またバンド端に近づくと共に値がさらに小さくなる事実を明らかにした。

レーザー作用

鉛ガラスで作製した 2 次元結晶のエアホールに色素溶液を満たし、光励起することにより二つの独立な波長で 2 次元面内でレーザー作用がおこる事実を見出した。世界最初のフォトニック結晶レーザーの観測である。溶液の屈折率、ならびに色素の種類を変えて調べるなど、詳細な実験的知見とそれぞれの場合のバンド計算との比較からレーザーの起源を解明した。一つは、小さな群速度による効果によるものであり、他は本来的に大きい Q 値をもつ非結合モードによるものである。いずれも、フォトニック結晶における新しいタイプの物質（原子）と輻射場との相互作用に基づく現象である。

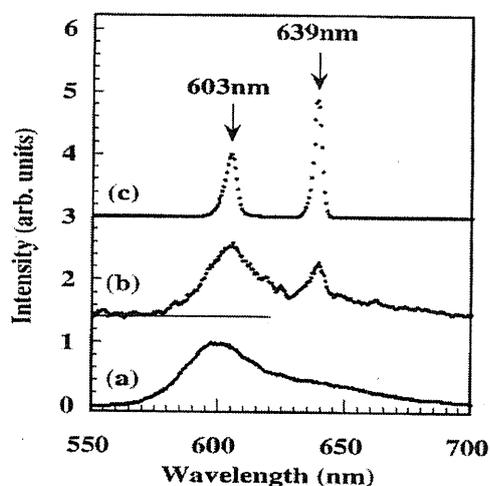


図3.4. 2次元フォトニック結晶のレーザー発振。

光第二高調波発生

コヒーレントな非線形光学現象において、フォトニック結晶の顕著なバンド分散ならびに逆格子ベクトルだけの自由度を利用すると、信号の効果的な発生

に重要な位相整合条件が原理的には多くの波長で満たされる。また、上述のように小さな群速度をもつ特性を利用することにより、多くの波長領域で効果的に信号を発生できる。第二高調波発生（SHG）現象を例にとり、これらの予測を初めて実証した。すなわち、鉛ガラス2次元結晶のエアールホール中にごく微量のSHG発生用の有機微結晶をランダムに導入し（ガラスは対称中心をもつのでSHGは発生しない）、光パラメトリック発振器からのナノ秒パルス光を照射して発生するSHG強度の波長依存性を測定した。試料のフォトリックバンド構造との対応から、位相整合条件を満たす波長、および小さな群速度を示す波長でそれぞれ信号が増強される事実を見出した。この増強効果は、位相とエネルギーの伝搬方向が逆向きでも生じることも見出した。

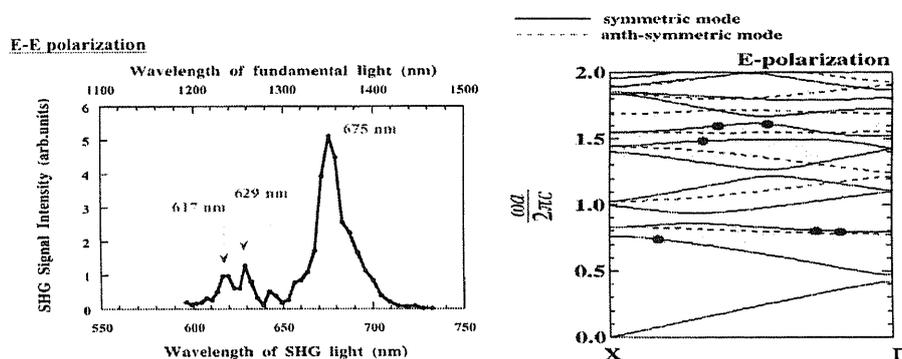


図3.5. SHG信号強度の励起波長依存性（左）と位相整合がとれるバンド位置。

局在モードにおける相互作用

前のおりフォトニック結晶線欠陥導波路における光との相互作用（伝搬特性）を詳細に調べた。主としてエアールブリッジ構造で種々のタイプの試料、素子を実験・開発し、それぞれの試料における局在モードに対するバンド計算、および透過スペクトルの時間領域差分法（FDTD法）による計算結果と、透過スペクトルの測定結果との比較から多くの事実を初めて解明した。これらの試料のモード解析、および光学特性を正しく実験的に評価するためには、極端に薄い試料（厚さが0.25 nm、幅が1.2 nm程度の試料）の透過率スペクトルを1.55あるいは1.3 nm近傍の広い波長領域にわたって測定することが不可欠である。この目的のために、まず最初に、ハロゲンランプ光源と近赤外用の多チャンネル

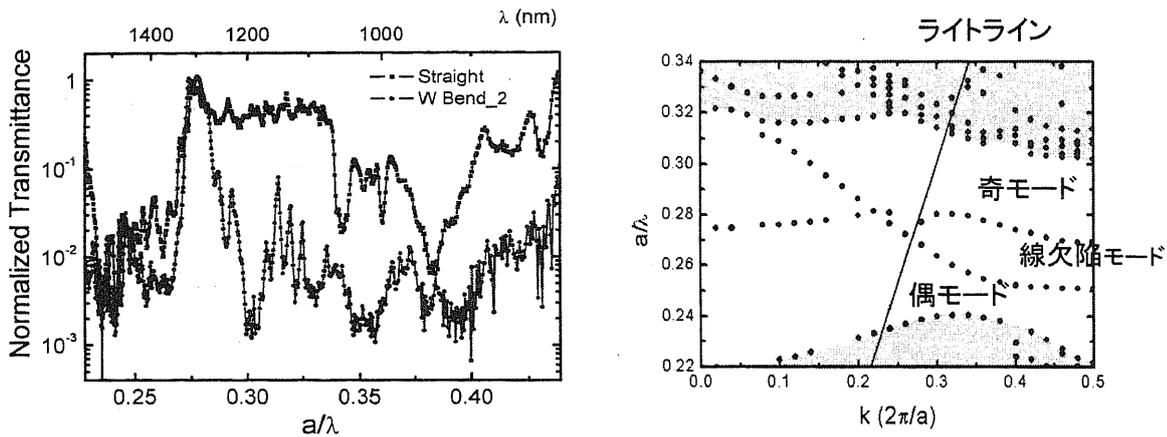


図3.6. (左)直線と曲がりフォトニック結晶線欠陥導波路の透過率の比較：共に事実上、無損失で伝搬している、(右)バンドギャップ中の線欠陥モード。

ル検出器を組み合わせた新しい、画期的な分光測定系を開発した（図 3.6 を参照のこと）。

以下の成果はこの測定系に負うところが大きい。主な成果として、1列抜き、ならびに小さな穴の列を導入したそれぞれの直線導波路、2回60度曲がり、Y型ブランチ、非対称3dBスプリッター、方向性結合器などの各構造のそれぞれにおいて、特定波長領域の線欠陥モードに対してのみ光がよく導波する事実を明らかにすると同時に、その絶対透過率の大きさならびにバンド帯の知見も得た。たとえば、単一モードのみが存在するように巧妙に設計し、特別に良質に作製した急峻な曲がり試料では、透過損失は無視できるほど小さく(80.5 dB/bend 以下)、バンド幅も40 nmと広い事実を明らかにした。その結果、将来の光通信のために必要な超高速光集積回路の鍵となる種々の素子の開発への道を拓く重要な成果をあげた。

光-光スイッチの基礎研究

能動的デバイス開発の研究例として、半導体スラブ試料の群速度の小さいバンドを利用して光-光スイッチの開発のための基礎研究を実施した。フォトニック結晶部分にナノ秒パルス光を照射して電荷を注入し、その結果生じるフォトニックバンド端の屈折率の変化に対応して光の透過率がファクター3から4程度変化することを実験的に見出した。この知見を基にして、利用できる波

長バンド幅がさらに広く、かつさらに弱い励起光強度で動作するスイッチの設計をした。

A-1 イ班 「フォトニック結晶の輻射場の制御に関する理論研究」

a. 研究の概要

この最終報告では、はじめに助成申請の際に掲げた研究課題および目的について説明し、終了時点から見直した総括をおこなう。実績としての具体的な研究成果は、a としてその後に項目別に整理して述べる。研究課題ごとに複数の成果が上がったので、それぞれの研究課題をさらにテーマごとに分割して述べる。

本研究では研究課題として

- (1) フォトニックバンド構造および透過スペクトルの理論計算と実験値との比較によるフォトニック結晶（実験班製作）の評価。
- (2) 精密なバンド計算による全方位ギャップをもつフォトニック結晶の理論的探索。
- (3) 局在モードや群速度異常による新規な光学現象(新しいタイプのレーザー発振、異常ラムシフト、自由電子による直接光子放出など)の理論的探索。

の3つを掲げた。

研究課題(1)と(2)はフォトニックバンドの計算法の高性能化と現実の系への汎用化を狙った。特に、厚さが有限なフォトニック結晶の研究が盛んになることを見越して、有限なフォトニック結晶のバンド状態の性質の解明、バンド構造の計算法の開発、金属フォトニック結晶など周波数依存性のある誘電率を取り込んだフォトニックバンドの計算、不純物や欠陥を含むフォトニックバンドと局在モードの性質の解明と計算方法の開発、有限な系の光応答の定式化と特徴の解明などを具体的な研究課題とした。これらの課題は理論的に未解決の課題ではあったが、同時に、本特定領域内およびわが国の実験チームの製作によるフォトニック結晶の品質の評価を理論計算を通しておこなうことも狙いのひとつであった。これは、実際の系で測定された光応答と理論計算上の光応答

を比較することにより理論面からの実験、結晶製作へのフィードバックを通して、わが国のフォトニック結晶の開発を側面からサポートしようとしたものである。

研究課題(3)として、群速度異常がフォトニックバンドの大きな特徴であるが、それが誘導放出、レーザー発振などの既知の現象や、あるいは、動的カシミア効果などいまだ未知の現象にどうかかわってくるかを調べる事を掲げた。これは、フォトニック結晶が輻射場の制御を通して期待通りの新しい技術や、物理の舞台となる可能性を秘めているか否かの可能性を調べ、未知の現象に対する理論的な予言をおこなって、現在注入されている人的、経済的コストに見合うフォトニック結晶の分野を拓いていくことを狙ったものである。

以上の研究課題は

(A)フォトニック結晶の分野で、理論計算と実験との比較を介して理論グループによる実験と結晶作成の現実へのサポートをおこなう(研究課題(1)と(2))

(B)理論的な予言を通してフォトニック結晶の分野の近未来の可能な発展を提示する(研究課題(3))

の二つの目的に即して設定されたものである。

このような観点からフォトニック結晶をめぐる純理論的な問題の解明ばかりでなく、実験とのタイアップを取ることを絶えず意識した。特に、本特定領域内の瀬川グループとの緊密な連携は大きな成果をあげた。瀬川グループのほかにも、日本女子大・国府田グループ、大阪大・萩行グループなど多くの実験グループとの日常的な研究上の情報交換を通じでこの分野の発展に努めた

本特定領域の終了に当たり、これらの諸研究課題や研究目的の達成度を述べる。研究課題(1)と(2)については計算方法の汎用化についてやや不満が残るが全体として90%の達成率であった。特に力を注いだスラブ形のフォトニック結晶に対する成果は120%の達成率である。研究課題(3)については光子の量子化が関係する諸問題の解明、スミス・パーセル放射のスペクトルの計算の成功はいずれも世界にさきがける成果であったと自負している。この2つのテーマは、ともに実験に先立って理論的な予言をしたものであるが、一部はすでに実

験が開始されており、本分野の将来の展望につながる成果である。この意味で研究課題(3)も120%の成果を挙げたといつてよい。以上を総括して、本班の研究課題(1)(2)(3)の達成度として、ほぼ助成申請時に掲げた目標は果たし得たと考えている。

以下では、研究成果を大きなテーマごとに整理して述べる。それぞれの項目が、いくつかの例外を除いて、1つ又は複数の論文として、あるいは国内外の学会発表として報告されている。

b. 研究成果

バンド構造と光応答

- S行列対角化法により、状態密度の計算法とそれを利用した漏れによる寿命のあるバンドの分散と寿命の計算法を確立した。この方法は、スラブ系フォトニック結晶内に立つモードのうち、光円錐内に立つ漏れモードの個性が、スラブの表面に入射した平面波光の透過と反射の複素振幅から容易な数理的な手法で求まることを明らかにしたものである。
- S行列対角化法で求めた理論的なバンド分散とQ値を用いて、いくつかの現実の系の光の透過率における鋭い共鳴線が説明できることを明らかにした。この研究によって、状態密度のピークと透過率の微細構造の間に強い相関があること、かつ、複素周波数空間内のフォトニックバンドに起因する多重な極の分布のために相関は単純ではなくいくつかの多様なパターンがあること、などが明らかになった。
- 漏れモードの寿命の起源を理論的に明らかにし、光円錐近傍のフォトニックバンドの寿命とモードのQ値に対し摂動論を用いた理論解析に成功した。また、光円錐の境界に近いその内外のモードの分散曲線の特徴を明らかにした。
- 量子井戸形フォトニック結晶の光応答の実験について、局在モード描像を用いた解析に成功し、結晶の層を厚くするとバルクのモードにシフトすることを明らかにした。この解析は実験グループとの連携の下におこ

なわれ、理論と実験の高度な一致を確認した。

- 3次元球配列および、2次元円筒配列金属フォトニック結晶のプラズモン起源のフォトニックバンドの計算に成功し、群論的な性格を明らかにした。さらに、プラズモンポラリトンの分散が波数に関して単調でない場合が生じることそのとききわめて鋭い光応答が得られることを見出した。
- 2重周期系の結晶では、バンド構造に蝶形ダイアグラムが現れ、バンド幅の狭い強結合バンドが強い局所場と鋭い光応答を導くことを明らかにした。また、バンド幅が狭いバンドの分散曲線は三角関数を用いた強結合バンドの理論で極めてよく記述できることを示した。
- フォトニック結晶の表面近傍の近接場の強度計算に成功し、群速度異常に伴う光子場のDOSの増強が強い近接場を作ることを明らかにした。金属フォトニック結晶では、プラズモン共鳴が関係するフォトニックバンドの励起により、いっそう強い近接場が生じることがわかった。

誘導放出とレーザー発振

- グリーン関数法で、結晶内の反転分布をもつ原子からの誘導放射の扱いに成功し、群速度異常によって、光子放出確率が増大することを明らかにした。この定式化によりフォトニック結晶内に埋め込まれた原子のレーザー発振や超放射現象の理論的な取り扱いが可能となった。
- レーザー発振について、誘電率の虚部に光の増幅効果を入れ、透過率の発散から閾値を見積もり、群速度異常による閾値の低減を数値的に明らかにした。この方法でレーザー発振に必要な反転分布の大きさの見積もりが可能であることを示した。
- 数値解析によるレーザー発振の閾値の値ときわめてよい一致を示す理論的な表式を導き、フォトニックバンドの群速度の関与の詳細を明らかにした。この理論式は光子の誘導放出の増大へのフォトニックバンドの関与についても利用できることを明らかにし、いくつかの系に対して応用した。

- 金属球配列フォトニック結晶のレーザー発振の閾値が、プラズモンフォトニックバンドの共鳴励起により誘電球配列系より一桁程度しきい値が下がることを示した。この現象は、金属フォトニック結晶における近接場の増大の原因とまったく同じ起源である。
- 回折格子とフォトニック結晶のレーザー発振の閾値の理論的な比較を行い、フォトニック結晶が、一桁程度ゼロ閾値に近い状況を実現できることを示した。この結果、質のよいフォトニックバンドが立って、光応答でそれを共鳴励起することが回折格子の能率との違いの最大の原因であることを示した。
- バンドの群論的な個性のほか、バンドの重なりがあるときに Fano 効果的な鋭い共鳴線が現れて、レーザー発振の閾値を鋭く引き下げることが明らかになった。この共鳴線は、光応答で強いシグナルをうむので、高性能センサーの開発に利用できることがわかった。

バンド構造と光応答計算の汎用化

- 時間領域差分法(EDTD 法)による解析ソフトを開発して、フォトニック結晶の単位胞の形状に制限を受けない汎用ソフトを開発し、実験製作グループの作成試料の精度の解析のためのバンド計算の需要に応じられるようにした。
- 仮想双極子埋め込み法をフォトニック結晶に利用できるように改良し、フォトニック結晶の欠陥モードの計算方法と、スラブ形フォトニック結晶でのモードの寿命の数値計算方法を開発した。
- 群論を用いて、平面波展開法を少ない基底関数で計算するアルゴリズムを開発した。不純物などが入ったスーパーセル法など必然的な巨大次元の行列計算を必要とする系の光応答の計算に活用できる方法である。

量子光学

- 群速度異常の効果により、フォトニック結晶内の不純物原子からの光に大きなラビ分裂が生じ、反転分布の部分的緩和とマクロな分極の局在現象が現れることを理論的に示した。

- 2 次の非線形感受率をもつフォトニック結晶における縮退パラメトリック増幅過程による直交位相成分スキューニングが、群速度異常によって格段に増強することを理論的に示した。
- 水素原子の 2s および 2p 電子準位のラムシフトを現実のフォトニック結晶に対して見積り、従来の計算は明らかな過評価であることを示した。

新奇的な物理現象と新しい実験の提案

- フォトニック結晶を発信機などで振動させることによって、さまざまな振動数の光を発生したり、入射した光を増幅させたりできることを理論的に示した。
- フォトニック結晶を用いたスミス・パーセル放射の光子放射の断面積の計算に成功し、球配列フォトニック結晶を用いた実験を実現した。フォトニック結晶の将来の利用という観点での新しい理論と実験である。
- フォトニック結晶のスミス・パーセル放射に群速度異常が影響していること、さらに、共鳴フォトニックバンドの Q 値と光子放射の断面積との関連を明らかにした。そして、フォトニック結晶を用いたスミス・パーセル放射スペクトルはフォトニックバンドの分散曲線を忠実に再現することを明らかにした。
- 走行荷電粒子のレーザー加速にフォトニックバンドの共鳴励起を用いると、回折格子に比べ格段の大きさの加速が得られることを明らかにした。

図 3.7 はスミス・パーセル放射のスペクトルの計算例である。積層数 4 層の正方格子配列のスラブ形誘電体球配列系を用い、球半径 a と周期 d の比は 0.42、誘電率は $\epsilon = 3.2^2$ 、結晶表面に平行に結晶軸方向に走る電子ビームの速度は $v = 0.90c$ (c は光速) である。結晶表面からの距離が $0.5d$ の場合の直線 h_{10} に沿って得られるはずの走行電子から放射される光の強度を示している。(a) はバンド図 (縦軸の z は無次元化周波数)、(b) は光放射の強度スペクトル (縦軸が任意単位の強度)。上の二つの図は (a) (b) のごく狭い範囲の拡大図である。バンドの分散を直線 h_{10} が切る周波数の位置に鋭い光放射が起き

ていることがわかる。

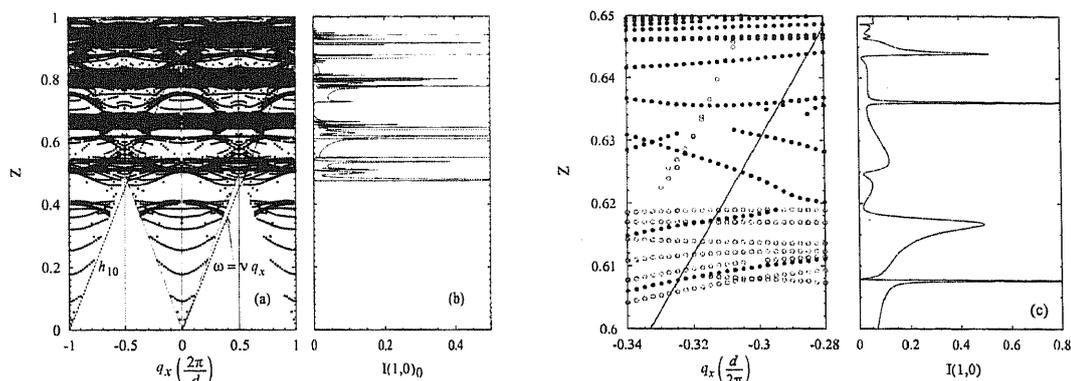


図 3.7. フォトニックバンドとスミス・パーセル放射スペクトル。

A-2 ア班 「光波長領域にバンドギャップをもつ半導体 3 次元フォトニック結晶の開発」

a. 研究の概要

フォトニック結晶は、発光や光の伝播を完全に制御可能であるという点で非常に興味深い材料であるが、波長程度の微細な加工技術を要求され、かつ構造としては、非対称面心立方構造あるいはダイヤモンド構造が要求されるため、本特定領域研究がスタートした時点では、光波長域で動作しうる完全 3 次元結晶は実現出来ていなかった。したがって、当時のフォトニック結晶分野における最大の課題は如何に完全結晶を実現するかであり、本研究計画では、第一に、精密位置合わせとウエハ融着を用いた本班代表者独自のマイクロマシーニング手法により、光波長域にバンドギャップをもつ半導体 3 次元フォトニック結晶を開発することを目的として研究を進めた。また、併せて、開発した結晶に人為的に欠陥や発光体を導入することで、輻射幅や光の伝播制御を系統的に行っていくことをも目的とした。

b. 主な研究成果

本研究では、前述のように独自のマイクロマシーン技術を用いて光波長域にバ

バンドギャップをもつ半導体3次元フォトニック結晶を開発することを第一の目的とし、併せて、開発した結晶に発光体を埋め込むことで、輻射場の制御の様子を系統的に調べることを目的とした。その結果、近赤外域にバンドギャップを持つフォトニック結晶の開発およびその結晶への発光体の埋め込みに成功し、バンドギャップ効果による自然放出抑制の可能性を示唆する結果など、数々の新しい知見を得ることが出来た。また、この3次元結晶の研究成果を2次元結晶に展開することにより、新しい機能デバイスの実現にも成功した。詳しい成果については、以下に箇条書きにして示す。

平成10年度の研究成果

- (1) 近赤外域結晶の開発に先立ち、まず赤外域(5~10 μm)にバンドギャップをもつ1周期(4層)の3次元フォトニック結晶を作製に成功した(図3.8)。
- (2) 続いて2周期(8層)からなるフォトニック結晶を実現し、透過スペクトル特性の測定から、赤外域で30dBを越える減衰の観測に成功した。この30dBの値は、反射率にして99.9%に相当し、キャビティ構成に十分であることを示した。さらに[001]方向から[110]方向に向けて様々な入射角度において、透過スペクトルを測定したところ(図3.9)、どの入射方向に対しても6.5~9 μm 域において20dB以上の減衰を明確に観測し、全方向にバンドギャップが開いていることを示した。
- (3) 上記の結果をもとに、バンドギャップ波長の短波長化を行い、近赤外域(1~

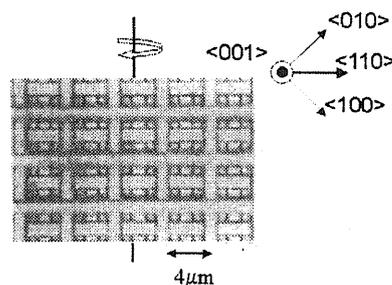


図3.8. 中赤外域3次元フォトニック結晶のSEM写真。

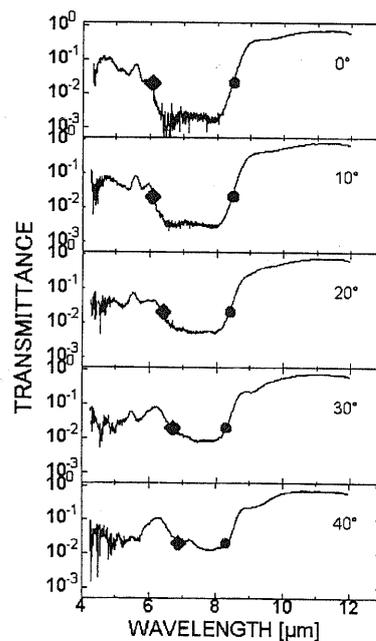


図3.9. 中赤外域3次元フォトニック結晶(2周期)に対する様々な入射方向の透過スペクトル。

3 μm)にバンドギャップをもつ結晶の開発を行った。材料系は、この波長域に重要な InP に変更し、小型化、材料の変化に対する課題を解決することにより、4層の結晶の作製に成功した。

- (4) さらに、併せて、本研究の3次元結晶開発の重要な手法であるウエハ融着法により、発光体をフォトニック結晶中に埋め込むことの可能性を探るため、2次元フォトニック結晶構造と発光体の一体化を試み、2次元フォトニック結晶の特性を反映した新規な2次元半導体発光デバイス(図3.10)の開発にも成功した。

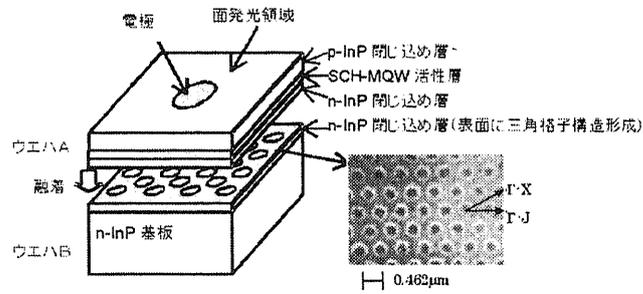


図 3.10. 開発した 2 次元フォトニック結晶レーザの模式図およびフォトニック結晶の SEM 写真。

以上の研究成果は、新聞発表（日刊工業新聞）、電子情報通信学会誌ニュース、Physics Today、日経エレクトロニクス等に取り上げられた。また、米国で行われたフォトニクス結晶に関する専門家会議 WECS'99 で報告（招待）し、非常に注目を集めた。国内では、少なくとも4回の招待講演を行った。

平成 11 年度の研究成果

- (1)前年度に、初めて光通信域で1ユニットのダイヤモンド構造結晶の実現に成功したが、本年度は、さらにプロセス全体的の見直しを行い、バンドギャップ効果として、同じ1ユニット結晶で、約10倍のものを得ることに成功し、光通信域での完全結晶実現に初めて成功した(図3.11)。

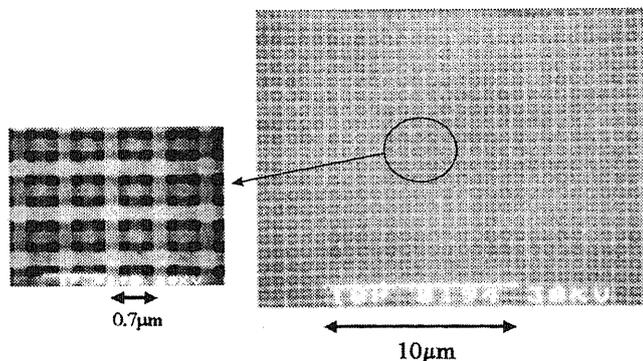


図 3.11. 近赤外域にバンドギャップをもつ3次元フォトニック結晶の SEM 写真。

(2) フォトニック結晶と発光体との一体化に関し、昨年度成功した2次元フォトニック結晶レーザーの研究をより進展させ、大面積でコヒーレント発振の実証と、局所電界分布の測定と理論計算との対応により、発振モードの同定に成功した。縦・横単一モードでかつ大面積大出力面発光レーザー可能性を示した。

(3) さらに、フォトニック結晶光回路を構成する要素として重要な、急峻な曲がりをもつ光導波路の解析、設計を行った(図 3.12)。曲がりの前後でのモードマッチング、曲がり部分の最適設計を行うことにより、幅広い周波数域で、95%以上の透過率をもつ曲がり導波路の設計に成功し、光回路実現の重要な指針を得た。

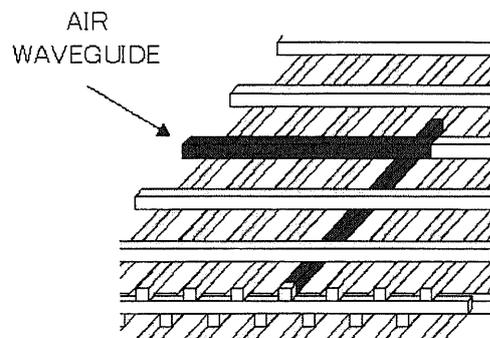


図 3.12. 設計した3次元フォトニック結晶直角曲がり導波路。

(4) その他、結晶中での超高速伝播の様子を観測など将来の光信号処理の基礎的実験をも行った。

以上の成果は、米国 Physics Today 誌1999年9月号、日経エレクトロニクス誌1999年4月22日号、日刊工業新聞1999年4月1日号、同新聞1999年4月6-9日号(連載)、パリティ1999年10月号等に取り上げられる等、国内外の大きな注目を集めることが出来た。また数多くの国内外での招待講演を行った。

平成12年度の研究成果

(1) 前年度に、光通信域での4層完全結晶実現に成功したが、本年度は、さらに8層構造の作製に成功し、40dBを越えるバンドギャップ効果の観察に初めて成功した。

(2)さらに、フォトニック結晶光回路を構成する要素として重要な、急峻な曲がりをもつ光導波路の初めての試作(図 3.13)にも成功した。基本ストライプ幅 $4\mu\text{m}$ のストライプ層のうち、中央の2層におけるストライプを一本ずつ除去した層を形成し、それを上下5層ずつの完全結晶で挟み込んだものである。

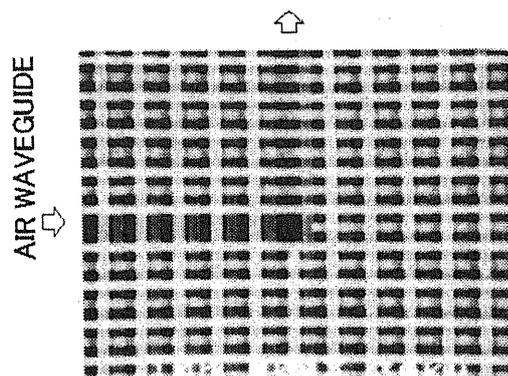


図 3.13. 試作に成功した 3 次元フォトニック結晶直角曲がり導波路。

(3)さらに本年度新たな試みとして、2次元結晶に点欠陥を設けた超小型チャネルドロップ光フィルターの提案とその試作に成功した(図 3.14)。それと平行して、2次元結晶スラブにおける完全無損失導波モードの条件を理論的に見出した。

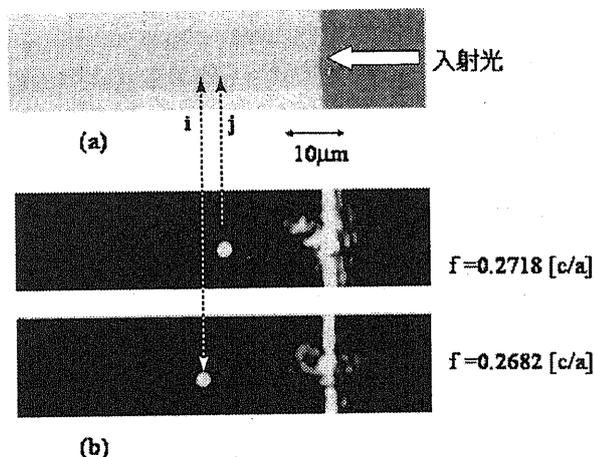


図 3.14. 2次元フォトニック結晶スラブの点欠陥を利用したチャネル・ドロップ現象の観察。(a)デバイスの表面写真、(b)実際の動作の様子。赤外線カメラでの観察結果。

以上の成果は、米国科学サイ

エンスおよび英国科学誌ネイチャーに掲載されるなど、国内外の大きな注目を集めることが出来、また数多くの国内外のメディアで取り上げられた。(詳細は、本特定領域 News Letter No.2-4 参照) さらに、数多くの国内外での招待講演を行った。

平成 13 年度の研究成果

(1)前年度までに、光通信域での完全バンドギャップフォトニック結晶を実現することに成功しているが、今年度は、世界で初めて、完全 3 次元結晶への発

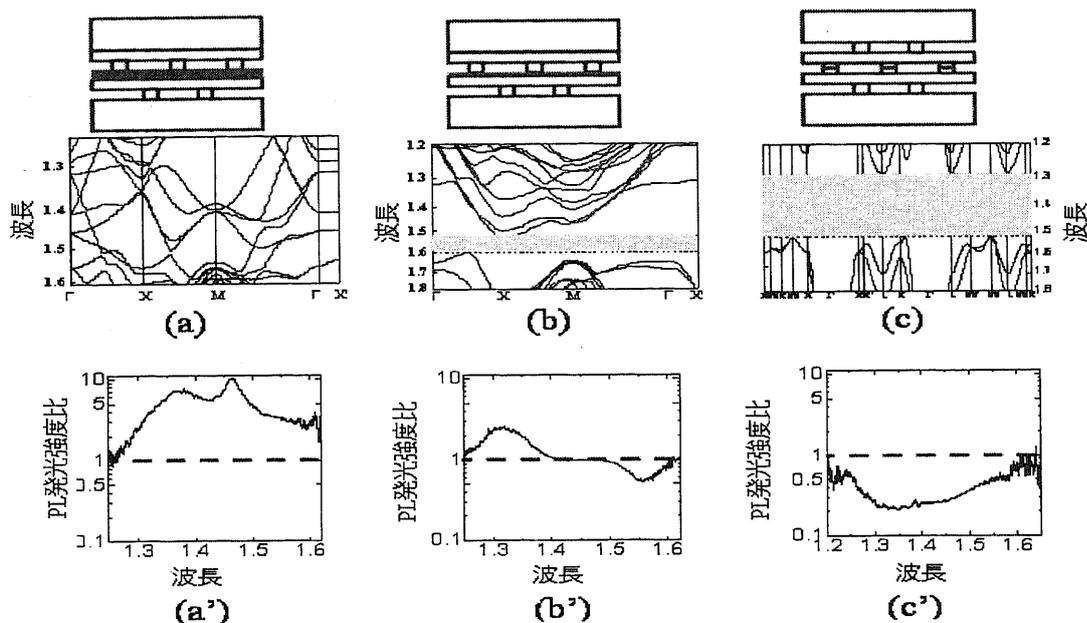


図 3.15. 3次元結晶への各種発光体の導入と、その効果、(a)は厚膜(250nm)発光層の導入とその際のバンド構造、(b)は、極薄(50nm)発光層の導入とバンド構造、(c)は、ストライプ状発光層の導入とバンド構造を示す。(a')-(c')はそれぞれの構造に対する発光特性を示す。参照領域で規格化されている。同図より、発光層の導入が(a)から(c)へ向かうにつれ、バンドギャップの効果がはっきりと現れ、バンドギャップ域で発光の抑制が起こっていることがはっきりと見て取れる。

光体の埋め込みに成功した。この際、各種(極薄構造やストライプ形状)の発光体の埋め込みを行い、バンドギャップ効果により、自然放出が抑制可能なことを示唆する結果を得た(図 3.15)。

- (2)これらの3次元完全結晶の研究は、2次元フォトニック結晶の研究をも加速し、昨年度、新たに発明した面出力型の波長分波デバイスにおいて、点欠陥の形状を様々に制御することにより、欠陥周波数がチューニング可能であること、偏光が自在に制御可能なこと等を示すことにも成功した。
- (3)さらに、2次元結晶の研究ではアクティブ型のデバイスの研究も加速した。研究代表者の提案する2次元フォトニック結晶レーザーにおいて、今年度、新たに、ユニットセルの構造を真円から楕円を用いることを提案し、理論および実験から、単一縦・横モードのみならず、偏光までも制御可能なことを示した。

以上の成果は、米国科学誌サイエンスにも掲載され、その結果、様々なメディアでも取り上げられ、大きな注目を集めることが出来た。招待講演も、国内外併せて、35件以上行った。

A-2 イ班 「半導体 2 次元フォトニック結晶の作製とレーザー作用」

a. 研究の概要

次世代の光ネットワーク技術で要求される光素子の大幅な高速・高効率化、大規模集積化は、現行技術では困難である。フォトニック結晶は、多次元周期構造による光閉じ込めの増強、発光過程の超高速・高効率化、急激な光配線による大規模集積化を可能にすると予測されている。本研究では、半導体 2 次元フォトニック結晶を利用したレーザーの実現とその関連技術の開拓を目指した。

2 次元フォトニック結晶は、基板面内に光学波長オーダーの周期性を有する微細構造である。3 次元結晶と比べると、次元が 1 つ少ない分、光の制御は不完全となる。しかし作製工程が単純で、発光素子や光回路に応用しやすい。特に均一な 2 次元結晶に 1 個の不均一要素（点欠陥）を導入すると、面内方向に強い光の共振効果が現われ、自然放出が 20 倍以上に高速化されることが簡単な理論計算から予測されている。これをレーザーに応用すれば、高速・無しきい値発振が期待できる。一方、2 次元結晶に線状の不均一要素（線欠陥）を導入すると、極めて光閉じ込めが強い光導波路が可能となり、複数の線欠陥を組み合わせれば、大規模光集積回路の高密度光配線への道が拓かれる。

フォトニック結晶レーザーやフォトニック結晶導波路では、理想的には超高効率動作が期待される。ただし研究開始当初は、構造の超高アスペクト比とナノメートルオーダーの高積度半導体加工が要求されていた。またレーザーの場合、表面非発光効果を抑えないと、高効率の減免は難しい。これらの理由から、具体的な素子応用に関する報告は極めて乏しかった。本研究代表者は、研究開始以前に表面効果の小さいインジウム燐系半導体を用いて 2 次元結晶の試作と発光制御の観測に成功し、さらに別の微小構造を用いて最低電流で動作可能な世界最小レーザーを実現している。これらの成果を踏まえて本研究では、作製が容易な構造の探索、多層マスクを用いた誘導結合プラズマ（ICP）ドライエッチングによる超精密加工技術の確立、2 次元結晶の作製と理論特性の確認、レーザーの作製と評価、問題点の解明を目指した。また関連技術として高い光

取り出し効率を有するフォトニック結晶 LED の提案・作製・評価、フォトニック結晶導波路の作製・評価、分散特性の特異性を利用した波長フィルタや光偏光器の提案と理論解析、3次非線形を用いたフォトニック結晶機能素子の提案と理論解析、および光入出力を高効率に行うための構造最適化にも取り組んだ。特にフォトニック結晶導波路の研究においては、薄膜に円孔配列を形成した構造（フォトニック結晶スラブ）を採用することで面垂直方向への光閉じ込めと大幅なプロセスの簡易化を実現した。結果としてこれがレーザーや他の研究の進展に大きな貢献を果たした。

b. 主な研究成果

以下ではフォトニック結晶半導体発光素子、フォトニック結晶導波路、フォトニック結晶透過型光機能素子の3点に研究成果を分類し、その内容を具体的に述べる。

フォトニック結晶半導体発光素子

本研究では点欠陥や線欠陥を導入して局在モードで発振させる微小半導体レーザー、およびウムクラップ散乱によって光を効果的に取り出す発光ダイオードに取り組んだ。

単一点欠陥レーザーについては、インジウム燐系フォトニック結晶スラブにおける光励起レーザー発振が1999年にカリフォルニア工科大学（Caltech）のグループにより初めて報告された。ただしディスクレーザーなど他の微小レーザーに比べるとしきい値が高く、連続動作が得られていない。そのため、自然放出制御などの興味深い現象が観測されていない。これは本質的に共振器の Q 値が低いこと、加工精度が不十分なこと、表面再結合による非発光効果が大きいことが原因である。本グループでは以前より表面再結合が小さいGaInAsP/InPの利用を提唱し、最近はこれが主流となっている。本研究では、まず加工精度を向上させるため、ICPエッチングを導入し、イオンとラジカルによるエッチングの平衡点において、サブミクロン構造に対する8以上の高アスペクト比、および平滑垂直な側壁を可能にした。次に位相差蛍光寿命測定法

を導入し、同半導体で標準的な表面再結合速度 $1.2 \times 10^4 \text{ cm/s}$ を評価した。さらに、様々な表面処理を試み、 CH_4 プラズマ照射にこの値を半分に減らす効果があることを発見した。

以上の技術を利用することで、フォトニック結晶スラブに点欠陥を導入したレーザ共振器を形成し、パルス室温光励起により図 3.16 のような明瞭なレーザ発振特性を観測した。しきい値照射パワーは 1.4 mW であった。もし点欠陥共振器部分のみに照射された光の吸収率を考慮すると、実効的なしきい値は約 $60 \mu\text{W}$ と見積もられた。ただし理論的なしきい値は $10 \mu\text{W}$ 以下と見積もられた。これらの差異は、拡散によって励起されたキャリアのレベルが低下することが主原因と考えられた。また、本研究においても最終的には連続発振に至らなかったが、その原因は上記の比較的高いしきい値に加え、 $10^5 \sim 10^6 \text{ K/W}$ の大きな熱抵抗が挙げられる。この問題を回避する設計が今後の課題である。

本研究ではこのような単純な点欠陥型レーザの他に、点と線を組み合わせた複合欠陥においても室温レーザ発振を得た。また点と線を組み合わせることで、単なる点欠陥よりも単一モード性が向上することも見いだされた。一般にフォトニック結晶では、様々な複合欠陥において光の強い局在と良好な共振が可能である。本研究では時間領域有限差分解析によりこのような特性を明らかにし、今後のフォトニック結晶レーザの幅広い応用や集積化の可能性を示した。

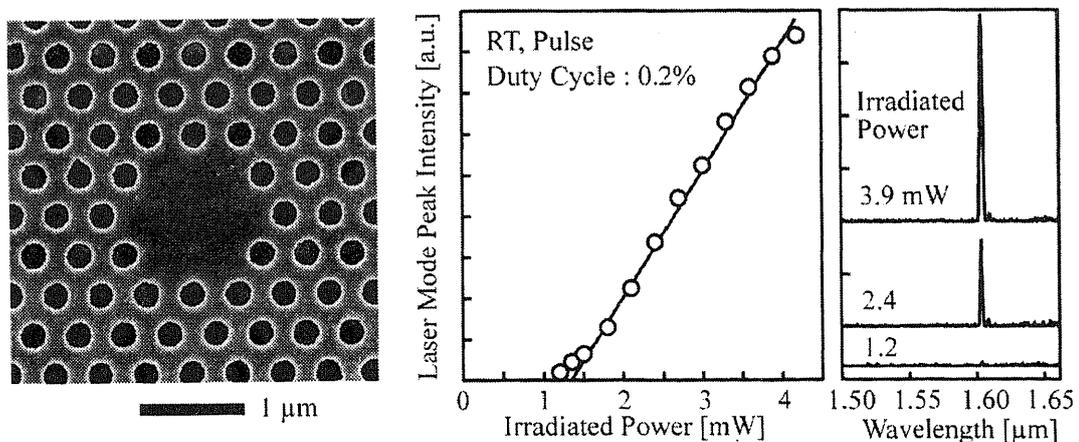


図 3.16. GaInAsP フォトニック結晶スラブ点欠陥微小共振器と室温光励起発振特性。

発光ダイオードについて本研究では、まず GaInAsP 活性層を含むウエハを深くエッチングした 2 次元フォトニック結晶を製作し、半導体からの光取りだし効率を評価した。そして通常ウエハの 20 倍以上の効率向上を観測した。ただし、表面再結合の影響で内部量子効率が 20% 以下に低下することもわかった。この問題を回避するため、浅い 2 次元回折格子を表面のみに形成する素子を検討した。これは半導体内部を自由伝搬する光をウムクラップ散乱によって空気中に取り出すことを原理とし、半導体内部の大きな立体角を占める光が取り出されることから最大で 3-4 倍の効率向上が期待された。実際に赤外波長を発する素子を作成した結果、理論どおりの効率向上を確認した。この構造は格子周期が数 μm と長いため、任意の半導体に簡単に形成できる。また非発光の問題がないため、安価、大量生産に適する。さらに可視光材料に対しても作製容易な寸法と数倍程度の向上が理論、実験の両面から確認されたため、発光ダイオードに限らず、幅広く自発光型デバイスに適用できる有望な成果といえる。

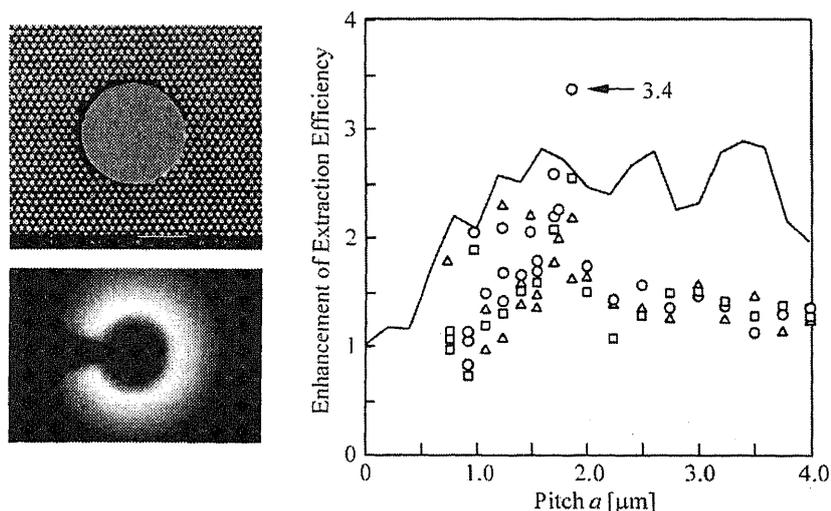


図 3.17. フォトニック結晶 LED。左上は製作した素子の SEM 写真で、中央は電極、左下は電流注入による発光近視野像、右は平面 LED に対する発光強度の増大。プロットは実験値、曲線は理論値。

フォトニック結晶導波路

線欠陥から成るこの導波路は米マサチューセッツ工科大学（MIT）が理論的に予測していたもので、本研究代表者も本研究開始以前に理論計算、ならびに高密度微小光回路の提案を行ってきた。ただし、それまで実証例がなかった。本研究では、当時、MIT や Caltech が別の目的で利用を始めていたフォトニック結晶スラブ構造を採

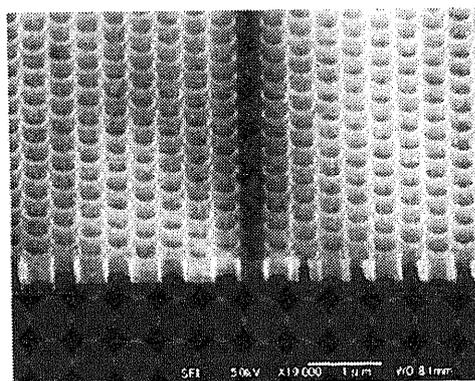


図 3.18. SOI 基板上に形成したフォトニック結晶導波路。

用し、GaInAsP 薄膜に線欠陥を導入、波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯の光を入射させたところ、光伝搬の観測に初めて成功した。この成果は内外で報道、引用され、この後、国内外の数 10 機関以上が研究を開始する契機となった。本研究ではさらに、ファブリー・ペロー共振法による伝搬損失の評価、および図 3.18 に示すような SOI 基板を利用したプロセスの簡素化をはかった。ただし当初はライトコーンと呼ばれる漏れモードの影響がはっきりしなかったため、単一线欠陥での損失が 100dB/mm 以上と大きかった。そこで時間領域有限差分法により放射モードを含む 3 次元フォトニックバンド計算を行い、ライトコーンを回避する最適設計を行った。その結果、損失を 11dB/mm まで低減することに成功した。さらに偏波間の伝搬の違い、導波層の下部に酸化層がある場合とない場合の伝搬の違いなど、理論的に予想される特性を忠実に再現することに成功した。また最大の興味の対象である急激な曲げについては、実験で光伝搬が観測されたものの損失が 7dB 程度と大きかった。計算により無損失に近い設計も得られるが、その場合は利用できる帯域が狭い。低損失と広帯域の両立がこの導波路曲げにおける今後の課題である。

フォトニック結晶透過型光機能素子

本研究では、バンドギャップよりも高周波数側の分散面の特異性を利用したスーパープリズム効果と 3 次非線形性の増大について理論的な調査を行った。

スーパープリズムは NEC が提案した波長フィルタ機能であり、発表当初は大きな注目を浴びた。しかしフォトニックバンドを2次元的に表す分散面と角度分散の関係が説明されただけで、理論的に不明な点が多かった。特に波長分解能と効率、最適設計を示す理論がなかった。本研究では、まず分解能とフィルタの利用法に関する基礎理論を構築した。これをもとに分散面を詳しく解析した結果、当初指摘された急峻な分散面からやや外れた条件で高分解能が得られることを見出した。ただし、次世代の高密度波長多重光通信で要求される分解能 0.4nm を実現するには、幅 $100\mu\text{m}$ 以上の広い入射ビームとセンチメートルオーダーの素子長が必要となる。そこで新たに k ベクトルスーパープリズムを考案した。従来のスーパープリズムはポインティングベクトルの偏向を利用しているため、フォトニック結晶内で光ビームを分離する必要があり、長い素子長の原因となっていた。 k ベクトルスーパープリズムは結晶内の k ベクトルの波長依存性を増大させる条件で設計されるもので、フォトニック結晶の端部での屈折により大きな光偏向を実現する。そのため、フォトニック結晶は $100\mu\text{m}$ 以下と短くてもよい。これに関しても分解能を調査した結果、従来のスーパープリズムと同等の分解能がより小さな素子で実現可能であることを見いだした。本研究ではさらに、このようなスーパープリズムをビーム偏向器として利用することを検討した。様々な角度の出射面をもつフォトニック結晶を用意すれば、従来のスーパープリズム効果によって各出射面に波長が異なる光を分配できる。さらに k ベクトルスーパープリズムによって、出射ビームを偏向することができる。分散面解析から具体的に素子を設計した結果、 $\pm 2\%$ の波長変化で $\pm 50^\circ$ 以上のビーム偏向が得られる可能性を示した。

3次非線形性については、まずフォトニックバンド計算から各バンドの群速度と光閉じ込め係数を計算し、低群速度と高い光閉じ込めに対応した非線形の増大を予測した。また透過スペクトルの非線形的な変化を調べるため、磁界→電束密度→電界の順番で計算を行う時間領域有限差分アルゴリズムを利用した。その結果、第二バンドの Γ 点付近のバンド端付近における低群速度領域で広帯域な非線形増強を見出した。この領域はライトコーン内にあっても放射損

失が小さい。したがってフォトニック結晶スラブを用いても高効率な非線形応答素子が構成できる。応答特性は急峻な非線形飽和を示したため、全光スイッチなどへの利用が期待されるだけでなく、これを複数組み合わせれば矩形応答波形を作ることが可能になる。

以上の素子では光を高効率で透過させる必要があるが、単純な2次元フォトニック結晶では注目する帯域において10%以下の透過率しか得られないことが計算により判明した。そこで入出射面の形状を変調してモード整合をはかることを提案し、突起要素を配置することで98%以上の透過率が得られることを理論計算した。さらに出射端においては、フォトニック結晶の逆格子ベクトルを反映した回折波がビーム品質を劣化させることが明らかになった。これを避けるために平坦面をもつ出射端を提案し、コリメートビームが生成できることを理論計算した。これらの入出射面をスーパープリズムと非線形要素に配置し、高効率かつ現実的な設計を得ること、これらの機能を実証することが今後期待される。

A-3ア班 「位相制御領域を有するフォトニック結晶の作製とその光デバイスへの応用」

a. 研究の概要

フォトニック結晶の内部に位相制御領域を設け、空間的・周波数的に強く局在した光学モードを利用することにより、自然放出光制御効果、光の無損失伝搬特性等のフォトニック結晶特有の物理現象を用いた新しいコンセプトの光デバイス実現が可能である。特に、高効率、極低しきい値レーザー、あるいは理想的な無損失光導波路の実現において、このような局在モードを形成するため、屈折率周期構造の一部を壊し、光の位相を強制的に変化させる領域が必要不可欠である。我々は、本プロジェクトが始まる当初、3次元フォトニックバンドギャップ結晶内に平面状の光位相制御領域を挿入し共振器構造とした、半導体レーザー（フォトニック結晶共振器レーザー）を提案した。フォトニック

結晶共振器レーザーでは、活性領域からの自然放出光は、誘導放出光と同様に全て1方向に出射され、さらに自然放出光寿命も大変長くなるため、空間的にコヒーレントでかつ、しきい値の無いレーザーとなる事を、理論的に明らかにした。

本研究の目的は、位相制御領域が挿入されたフォトニック結晶における輻射場制御効果を明らかにし、光デバイスへの応用を検討する事である。そのため、まず、精度の良い作製が可能な、ミリ波サイズの誘電体構造を用いて、位相制御領域を含む3次元フォトニック結晶を作製し、バンドギャップ、フィールドの局在効果、反射・放射特性等の基礎的効果を観測する。さらに、光デバイスへの直接応用を考慮し、赤外～可視領域（サブミクロンサイズ）の半導体2次元・3次元フォトニック結晶を作製し、それを用いて、自然放出光の放射パターン、寿命変化等の位相制御効果を実証する。そして、計算シミュレーション、測定結果を基に、半導体2次元フォトニック結晶を用いた局在準位レーザー、リングレーザー等の自然放出光制御型レーザーを設計、試作することを目標とする。

b. 主な研究成果

本研究は、位相制御領域が挿入されたフォトニック結晶における輻射場制御効果を明らかにし、光デバイスへの応用を検討する事を目的とする。そのため、まず、精度の良い作製が可能な、ミリ波サイズの誘電体構造を用いて、位相制御領域を含む3次元フォトニック結晶を作製し、バンドギャップ、フィールドの局在効果、反射・放射特性等の基礎的効果を観測する。さらに、光デバイスへの直接応用を考慮し、赤外～可視領域（サブミクロンサイズ）の半導体2次元・3次元フォトニック結晶を作製し、それを用いて、自然放出光の放射パターン、寿命変化等の位相制御効果を実証する。そして、計算シミュレーション、測定結果を基に、半導体2次元フォトニック結晶を用いた局在準位レーザー、リングレーザー等の自然放出光制御型レーザーを設計、試作することを目標とする。

本研究では、上記目標達成のために、①ミリ波領域シリコンナイトライド球

を用いた3次元フォトニック結晶の作製と光学特性の観測、②選択結晶成長を用いたⅢ族窒化物2次元フォトニック結晶の作製、及び③マイクロマニピュレーション技術を用いた半導体3次元フォトニック結晶の作製と評価、を行い以下の研究成果を得た。

ミリ波領域フォトニック結晶の光学特性の観測

サイズ数mmのシリコンナイトライド誘電体球を3次元に配列しフォトニック結晶を作製し、結晶にミリ波を照射し、反射・透過特性を観測した。はじめに球の2次元配列を作製し、それを多層に積み重ねることにより3次元フォトニック構造を形成した。各層間のギャップを変化させることにより、フォトニック結晶内に位相制御領域を形成し、局在モード発生に伴う透過率特性の変化を観測した。半導体中の電子の量子井戸に対応する、フォトニック結晶を用いた量子井戸構造を形成し、その透過測定を理論値と比較することにより、フォトニック結晶を用いた量子井戸の効果を明らかにした。

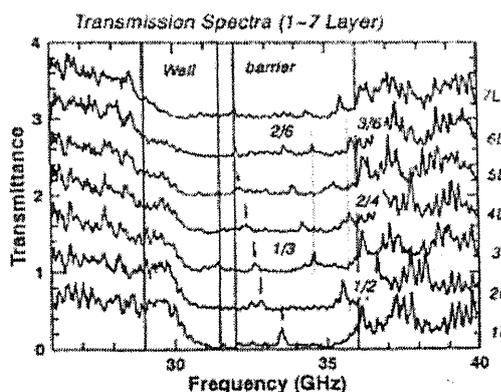


図 3.19. 誘電体球の2次元配列を積層して作成したフォトニック結晶量子井戸（井戸数1-7層）の透過スペクトル。

Ⅲ族窒化物を用いた2次元フォトニック結晶の作製

可視域半導体2次元フォトニック結晶をピラー配列で作成する場合、高いアスペクト比と結晶の強度、結晶の均一性が要求される。本研究では、結晶安定性が極めて高く、結晶の均一性も得られや

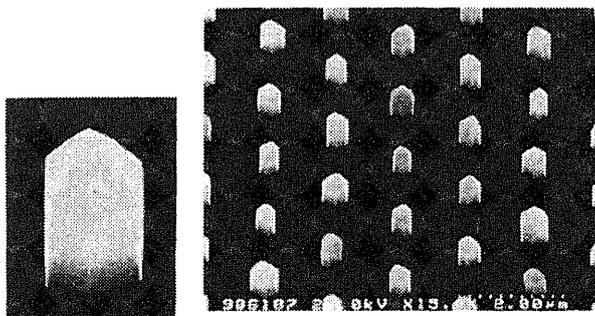


図 3.20. 選択結晶成長法を用いて形成した窒化ガリウム (GaN) 2次元フォトニック結晶。

すいⅢ族窒化物を用いてフォトニック結晶を試作した。作製は、電子ビーム露光法を用いた SiO₂ マスクパターンの形成と、有機金属気相成長法を用いた選択結晶成長を用いることにより行った。GaN（窒化ガリウム）の垂直成長モードを初めて明らかにすることにより、選択結晶成長を用いた GaN ロッドアレイ作製を可能にした。サファイア基板上に製膜した GaN（窒化ガリウム）バッファー上に周期 1.5μm、直径 0.3μm、アスペクト比 3 程度の GaN ロッドアレイを作製した（図 3.20）。

半導体 3 次元フォトニック結晶の作製と評価

フォトニック結晶を用いた半導体光デバイスを実現するためには、任意の構造の光位相制御領域（欠陥）をフォトニック結晶に挿入する構造が必要である。本研究では、2次元のフォトニック結晶プレートをマイクロマニピュレーション技術を用いて積層する新しい方法を用いて 3次元半導体フォトニック結晶の作製を行った。この方法は、自由な構造の欠陥領域をフォトニック結晶の挿入できる作製手法であり、将来のフォトニック結晶光デバイスの実現に大変有用であると考えられる。材料としては、表面酸化やダメージの影響が比較的少ない、InP 系の材料を選択した。InP/InGaAs/InP 層からなる基板の上に、電子ビームリソグラフィを用い、2次元状のフォトニック結晶パターンを描画し、さらに、ドライエッチングによる垂直エッチング加工と、ウェットケミカルエッチングによる InGaAs 中間層の溶出を行なうことにより、細いブリッジのみで空中に保持されたフォトニック結晶用マイクロプレートを形成した。さらに、走査型電子顕微鏡観察下で、細いプローブを用いてマイクロプレートを基板から取り外し、順次積層する。積層に於いて位置あわせを行うため、微小球をストッパーとして各層に挿入する。これらのプロセスを用いて、4層で一周期を形成するウッドパイル構造の試作を行なった。

図 3.21 に電子顕微鏡観測下において行なわれた積層の様子と、ウッドパイル構造を 20 層（5 周期）積層した時の写真を示す。図 3.22 に積層後の上部からの SEM 像を示す。高い位置あわせ制度で、かつ、隙間無く 20 層のマイクロプレートが積層されていることが写真から分かる。FTIR を用いて作製した 3

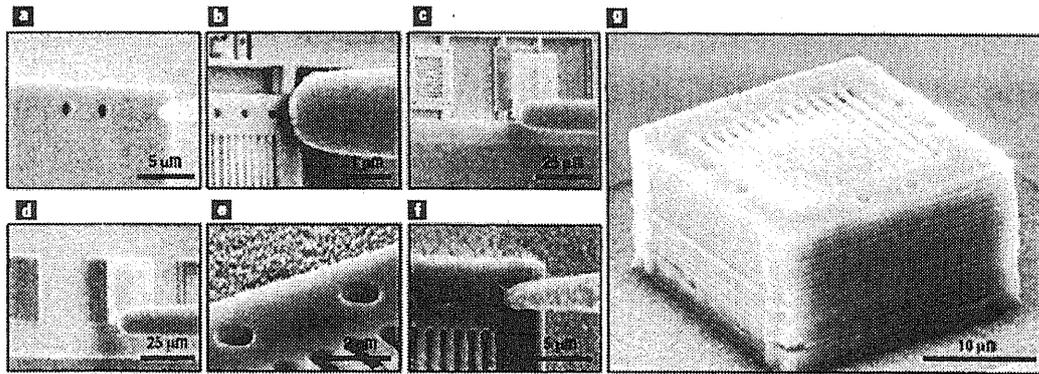


図 3.21. 電子顕微鏡観測下において行なわれた InP マイクロプレートの積層の様子と、ウッドパイル構造を 20 層 (5 周期) 積層した時の写真。

次元フォトニック結晶の反射・透過率測定を行った。図 3.23 にウッドパイル構造を 1 周期から 5 周期まで積層した時の反射率および透過率を示す。波長 3.3

–4.3 μm 付近にフォトニックバンドが観測された。さらに 3 次元フォトニック結晶の中間層にサイズの異なるプレートを挿入し、欠陥を挿入した結晶を作製し、透過率測定から、欠陥挿入効果の評価を行なった。図 3.24 に欠陥を挿入した時の透過率の変化 (理論計算と実測値)、図 3.25 に欠陥挿入結晶内における局在モードの電磁界分布の計算結果を示す。わずかにサイズの異なるプレートの挿入により、フォトニックバンドギャップ内に局在モードが発生していることが分かる。本研究では、これらの実験結果から、3 次元フォトニック結晶のフォトニックバン

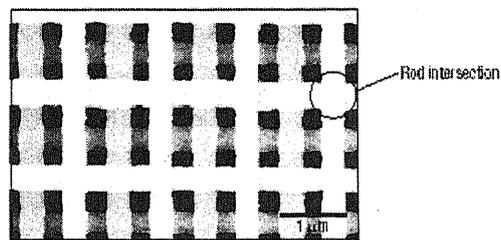


図 3.22. 3 次元フォトニック結晶 (ウッドパイル構造) 積層後の上部からの SEM 像。

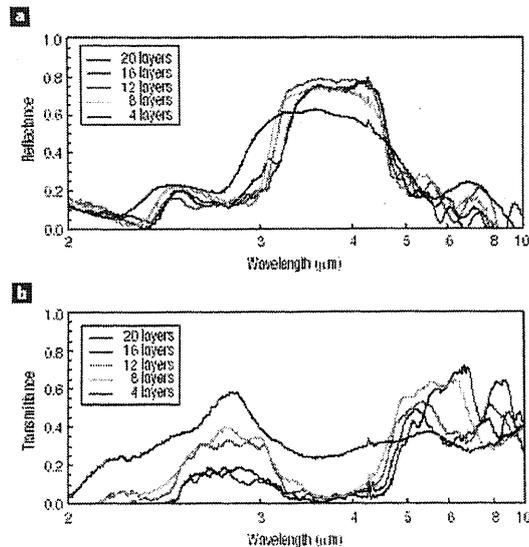


図 3.23. FTIR 測定による、3 次元フォトニック結晶 (ウッドパイル構造) の反射率および透過率の積層周期依存性。

ドギャップ内に形成された局在順位モードを、赤外波長領域で初めて確認した。

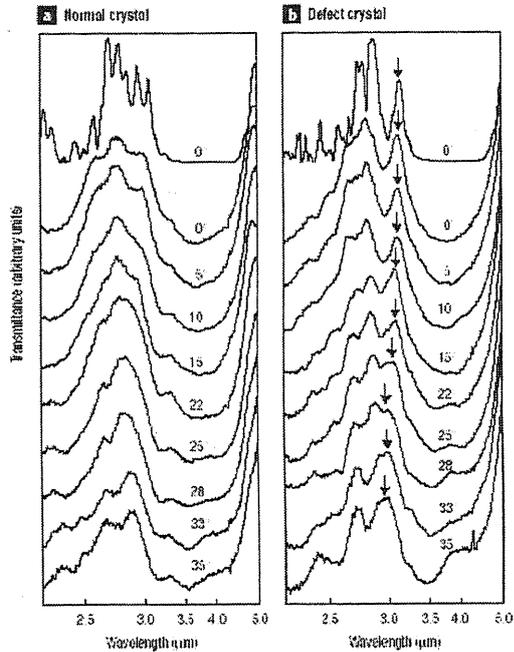


図 3.24. 欠陥を挿入した 3 次元フォトニック結晶（ウッドパイル構造）の透過率の変化（理論計算と実測値）。

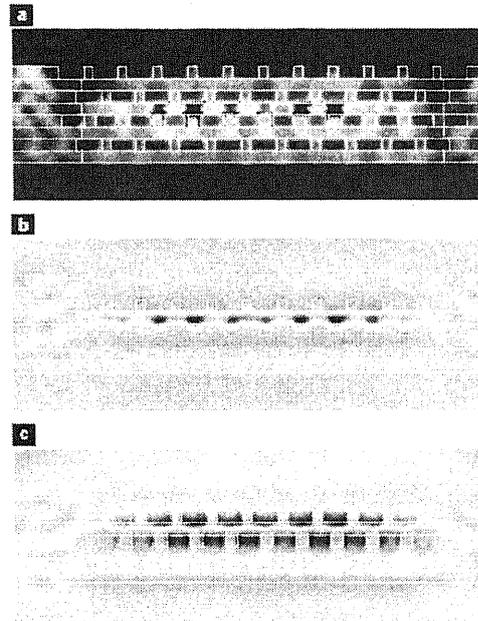


図 3.25. 欠陥挿入 3 次元フォトニック結晶内における局在モードの電磁界分布。

A-3 イ班 「フォトニック結晶共振器を用いた高効率光混合サブミリ波発振器の開発」

a. 研究の概要

電磁波においても誘電率が波長のオーダーで周期的に変化する媒質（フォトニック結晶）中では、金属や半導体結晶中の電子と同じように、その固有モードの存在しないフォトニック・バンドギャップが出現する。本研究の目的はフォトニック結晶により電磁波の放射を直接制御して、遠赤外・サブミリ波（テラヘルツ）領域における高効率単色光源を開発することにある。フォトニック・バンドギャップ中に現れる不純物モードはその Q 値が極めて高く、これを利用すればレーザー光に匹敵する単色性が得られることが期待される。本研究では、共通ギャップが存在しかつ不純物の制御が比較的容易な積層型エアロ

ッド単純立方格子および積層型エアロッド三角格子に着目した。このフォトニック格子中に光混合型発振器もしくは非線形光学結晶を組み込み、その発振周波数を不純物モードに一致させることにより、高効率の単色性の高い発振が可能である。具体的には、フォトニック結晶を共振器として用い、その中に電磁波発振源を埋め込んだ遠赤外・サブミリ波（テラヘルツ）領域における高効率の単色光発振器を設計試作するものである。本研究は、フォトニック結晶中において電磁波の群速度異常により非線形光学効果や光伝導スイッチ素子における光-電磁波エネルギー変換効率が増強することに着目し、テラヘルツ帯の高効率発振機器を開発するものである。本研究は主に、(1) テラヘルツ時間領域分光法によるフォトニック結晶中の電磁波分散関係の決定、(2) フェムト秒レーザーパルス光によるテラヘルツパルス電磁波の発生、および、(3) CW レーザー光による2波長光混合テラヘルツ CW 電磁波の発生実験の3つの研究で構成されている。フォトニック結晶格子として、積層型のエアロッド単純立方格子および四角穴エアロッド三角格子を選んだ。また、埋め込む発信素子としては、非線形光学結晶である ZnTe 単結晶及び低温 MBE 成長ガリウム砒素膜 (LT-GaAs) 製の光伝導アンテナを用いている。特に、光伝導アンテナを用いた差周波光混合発信素子の発振周波数は、フォトニック結晶格子の外部からの励起光により自由に変えられ、容易に不純物モード振動数等に一致させることが可能である。これまで、①共振器用フォトニック結晶の設計と製作、②バンドギャップ振動数の測定と局在モードの確認、③テラヘルツ時間領域分光による電磁波分散関係（バンド構造）の決定、④光伝導スイッチ発振素子の作製を行ってきた。これらの基礎的な成果に基づき、差周波光混合連続波テラヘルツ電磁波発生実験とテラヘルツパルス電磁波発生実験を進めた。

b. 主な研究成果

テラヘルツ時間領域分光法によるフォトニック結晶中の電磁波分散関係の決定

時間領域分光法 (TDS) を用いれば、電場の振幅と位相が独立して同時に測定できる。フォトニック結晶中を伝播したとき電磁波の位相が通過した結晶面数

の π 倍だけシフトすること、またその位相シフトスペクトルから直ちにフォトニック結晶内の電磁波の分散関係が決定できることを実証した。二次元のエアロッド三角格子と四角格子、および三次元擬単純立方格子フォトニック結晶中の電磁波の分散関係を決定した。

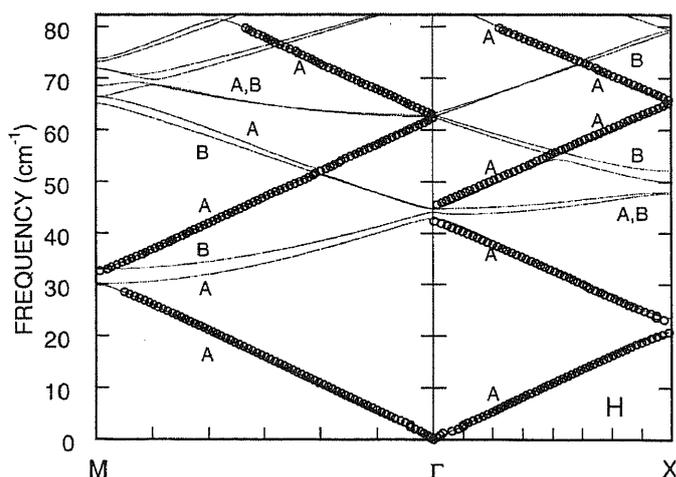


図 3.26. 正方格子フォトニック結晶の分散関係。実線は平面波展開法によるバンド計算の結果、白丸はテラヘルツ時間領域分光による測定結果。

平面波展開法によるバンド

計算やトランスフォーマトリックス法による透過率スペクトル計算より予測されていたブリルアンゾーン中心や境界において電磁波の群速度が極めてゼロに近くなることを実証した。(図 3.26)

非線形光学効果によるテラヘルツパルス電磁波発生による不純物モードの励起

非線形光学結晶である ZnTe 単結晶を両側からシリコン製のエアロッド擬単純立方格子で挟み、フォトニック結晶共振器を作製した。格子定数は0.40mm、エアロッド辺の長さは、0.92mm、エアロッドの体積充填率は0.81である。シリコン10.5と0.1である。フェムト秒レーザーパルス光を ZnTe に直接照射し、非線形光学効果（光整流）によりテラヘルツ電磁波を発生させ、これを光伝導アンテナで検出した。両側から挟んだ場合には、出射側にのみフォトニック結晶を置いた場合には見られない放射ピークをバンドギャップ領域に見出した。この発振ピークが、ZnTe 結晶自身がフォトニック格子中の面欠陥として作用し、面欠陥局在モードを励起した結果であることを明らかにした。欠陥層である ZnTe 結晶の厚さを変えて異なるタイプの局在モードを励起することにも成功した。また、これらの面欠陥モードの振動数および磁場空間分布を FDTD 法により計算し、発振ピークが面欠陥モードに起因することを確認した。

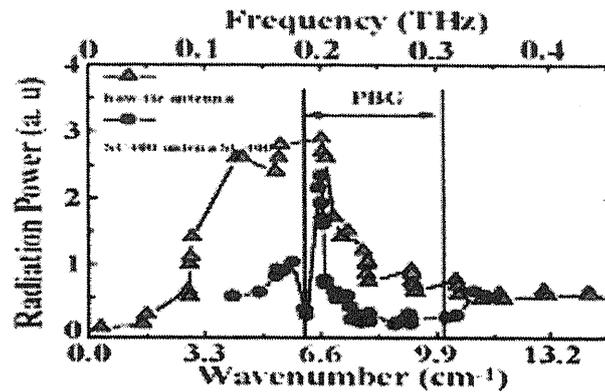


図 3.27. 差周波光混合によるフォトニック結晶共振器からの発振スペクトル。丸印が共振器からの発振スペクトルであり、6.7 cm^{-1} に強い面欠陥不純物局在モードに対応する発振ピークが見られる。

連続波差周波光混合によるフォトニック結晶共振器中の不純物モードの励起

フォトニック結晶共振器の共鳴効果による不純物モードの発振増強効果を目的として、連続波による実験を試みた。上述のシリコン製エアロッド擬単純立方格子中にLT-GaAs製のボウタイ型光伝導アンテナを不純物層兼発振素子として埋め込み面欠陥型フォトニック結晶共振器を作製し、差周波混合によりテラヘルツ電磁波の放射パワーの周波数依存性を調べた。2種類のレーザーを用いて差周波光混合実験を行った。一つは外部共振型の単一モード波長固定半導体レーザーであり、もう一つはリング共振器を備えたチタンサファイヤレーザーである。チタンサファイヤレーザー光の波長を変え差周波数を変化させることによって、連続テラヘルツ電磁波を発生させた。放射されたテラヘルツ領域の電磁波をInSbホットエレクトロン検出器で測定した。ボウタイアンテナのみの放射スペクトルをフォトニック結晶共振器からの放射スペクトルと比較した。フォトニック結晶共振器からの放射ではバンドギャップ端の6.1、6.4および10.1 cm^{-1} およびバンドギャップ中の7.0 cm^{-1} 付近に鋭い放射ピークが見出される。このうち、7.0 cm^{-1} の放射ピークは、フォトニック結晶の面欠陥モードが励起され、共振効果によって電磁波が効率よく放射されたものと考えられる。また、バンド端のピークはゾーン境界で群速度が極めて低く（群速度異常）なるために、電磁波の状態密度が増大して「光-電磁波変換効率」が増強されたものと解釈できる。（図 3.27）FDTD法により、GaAs面欠陥共振器中の局在モー

ドを解析し、 6.5 cm^{-1} の発振ピークが入射面側（アンテナ側）により局在する非対称な空間分布をとる面欠陥モードであることを明らかにした。

テラヘルツ領域ダイヤモンド格子フォトニック結晶の作製と評価

大阪大学接合研究所の宮本研究室および本領域のA-1イ班との共同研究により、光造形法を用いてテラヘルツ帯のフォトニック結晶を作製した。結晶構造は、誘電体ロッドおよびエアロッドダイヤモンド格子および逆ダイヤモンド格子であり、材質は酸化チタンを分散させた光硬化エポキシ樹脂である。平面波展開法によるバンド計算により、全方位に共通な広いストップバンドが開くことを確かめた。マイクロ波領域の格子を作製し、広いバンドギャップを確認した。ダイヤモンド格子と逆ダイヤモンド格子の測定結果はバンド計算の結果とともに良く一致し、これらの格子が有望であることを見出した。また、両格子における最も広い共通バンドギャップを実現する格子パラメーターを決定した。さらに、テラヘルツ領域の格子を作製し、テラヘルツ時間領域分光法による透過測定を行い、テラヘルツ領域でもこの光造形法による酸化チタン分散/光硬化エポキシ樹脂製のフォトニック結晶の有用性を確認した。

バンドギャップ領域に方向依存性を出現させるために、ダイヤモンド格子を一方向に引き伸ばした変形格子を作製した。結晶格子の中心位置にマイクロ波発振用のアンテナを挿入し発振特性の方向依存性を測定した。特定領域のマイクロ波を引き伸ばした方向にのみ発振させることに成功した。これにより、バンドギャップの方向依存性を利用して発振方位等の電磁波伝播特性を制御できることを実証した。

2 次元エアロッド格子中の線欠陥モードの波数ベクトル依存性およびその磁場強度空間の解析

本領域のA-1イ班との共同研究で、二次元エアロッド格子中の線欠陥モード振動数の波数ベクトル依存性について調べた。シリコン板に四角形の溝を掘り、それを積層することにより、四角形エアロッドを三角格子状に配列した擬三角格子フォトニック結晶を作製した。格子定数は 0.52 mm 、充填率は 0.46 である。中心の層の1枚を溝のないシリコン板に置き換えることにより、二次

元の線欠陥結晶を作製した。FDTD 法により、この線欠陥局在モードの振動パターンを解析し、その振動数の波数ベクトル依存性について考察した。また、テラヘルツ時間領域分光法により透過率を測定し、スペクトルのバンドギャップ領域に線欠陥局在モードによる透過ピークを見出した。この局在モードの振動数の入射方向（波数ベクトル）依存性の詳細を調べ、その測定結果が上述の理論計算で極めて良く再現できることを見出した。さらに、正方格子についても同様の測定と数値解析を行い、線欠陥不純物モードの波数ベクトル依存性を議論した。

マイクロ波帯フォトニック結晶の作製と評価（周期性マイクロストリップライン）

マイクロ波からサブミリ波帯域の一次元フォトニック結晶として、伝送線のライン上に周期性を導入した周期性マイクロストリップラインを作製し、電磁波伝播特性の制御を試みた。単純周期（純周期構造および欠陥構造）のストリップラインを誘電率 4.2 の誘電体基板上に作製し、ベクトルネットワークアナライザによりその S パラメータを測定した。格子定数 16.35mm のマイクロストリップラインにおいて明確な広いストップバンドが 5GHz 付近に現れることを見出した。また、周期性ラインの中央に欠陥ラインを挿入した格子周期を乱した欠陥構造のラインを作製し、バンドギャップ領域に Q 値の高い不純物局在モードをつくり出すことに成功

した。この欠陥モードの Q 値が基板の誘電損失と欠陥ラインを両側から挟んでいる単純周期構造の周期数（層数）に大きく依存していることを見出した。このストリップラインがナローバンドフィルターとして応用できることを実証した。

(図 3.28)

さらに、二重周期構造のラインを

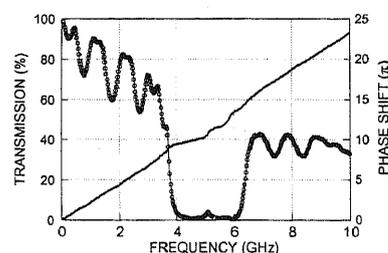


図 3.28. 欠陥を導入した単純周期マイクロストリップラインの透過スペクトル。5GHz に点欠陥不純物局在モードに対応する鋭い透過ピークが観測される。

作製し、バンドギャップ中心に極めて Q 値の高い局在モードである“Singular Bloch Mode”を始めて実際に作り出すことに成功した。このモードは、本領域の A-1 伊班により誘電率に二重周期構造をもつフォトニック結晶で出現することが予測されていた極めて高い Q 値を持つ特異な性質のモードである。これらのモードについて電磁界数値解析を行ない、170 以上にも達し、しかも透過強度損失が同じ条件の単純周期に欠陥ラインを導入した場合と比較して極めて低く、透過率が 300 倍も高くなることを見出した。

単純立方格子における不純物モードの理論解析 (FDTD 法)

FDTD 法により、単純立方格子における面欠陥局在モードの振動パターンを解析し、テラヘルツ時間領域分光法による透過率の測定結果及びフォトニック結晶共振器からの発振スペクトルの測定結果と比較検討した。局在モードは欠陥層の厚さや誘電率ばかりでなく両側のフォトニック結晶の配置に大きく依存すること

を見出した。すなわち、フォトニック結晶を中心の欠陥層に対して非対称に配置した場合、励起される局在モードの電場（磁場）空間分布も当然非対称となり伝播しやすい方向と伝播しにくい方向が存在する。(図 3.29) それらが各局在モードによって異なっていることを見出した。したがって、外からの入射電磁と結合しやすい方向と結合しにくい方向が現れる。この性質を利用して新しい分波器を提案した。

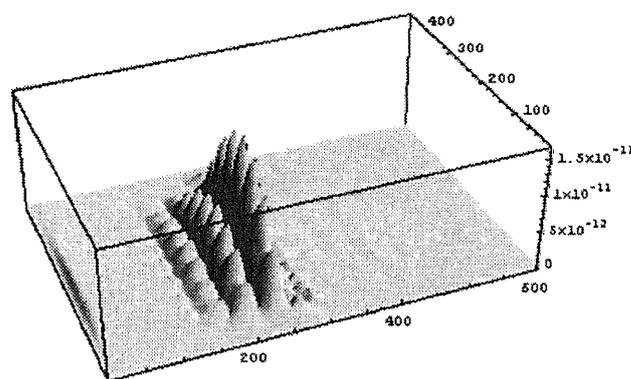


図 3.29. フォトニック共振器中の面欠陥不純物局在モードの電場強度の空間分布。モードは出射方向の共振器の左半分に局在していることが分かる。この面欠陥モードと同一の振動数を持つ入射電磁波は、左側からの入射しやすいが、右側からは入射しにくくなる。

5. 領域として研究を推進したうえでの問題点と対応措置

- 1) 本特定領域研究の研究期間中に、国際的にみてフォトニック結晶関係の研究は目覚ましい勢いで進展した。この領域がスタートしてから現在に至るまでに、この分野の研究者の数は国内外共に急増しており、さらに、分野のすそ野が発足当時考えたよりもはるかに広がり、また多くの新しい重要課題が発生した点が問題であった。このために、相当程度、研究の水準を上げること、ならびに研究のスピードアップの必要に迫られ、個々の研究者の努力、および研究者相互の連携の強化で対応せざるを得なかった。
- 2) 研究期間の前半では、率直に言って各研究班間、研究者間の連携の点で問題があった。本特定領域研究は、物理学、応用物理学、電子工学、化学、など異なる専門分野、ならびに学会に属する研究者から構成されていたために、領域研究の開始後の1年半位は研究者間の相互理解が不足して、互いに議論を闘わすことに困難があったためである。対応措置として、公開シンポジウムの開催時に昼夜を分かたず徹底的に議論することでこの問題の解決を図った。この方法は解決策として非常に有効であり、その後、各研究班間で円滑な連携が図れるようになった。

6. 成果報告書に関して

本報告書は、この特定領域研究の全体の研究成果をまとめたものであり、国内の各関係機関、ならびに、多くの関心のある研究者に配布する。

この報告書とは別に、研究成果を国内外に公表・アピールするために、本特定領域研究で得られた研究成果を中心に、英文の専門書“*Photonic Crystals-Physics and Applications*”をドイツのSpringer社から出版する予定である。計画研究班の代表者5名および分担者2名、評価委員1名、合計8名が執筆する。すでに、第一段階の執筆を終えており、平成16年2月までに出版できる予定になっている。

7. 成果一覽

A-1 ア班

[1] 原著論文

- 1) K. Inoue, M. Sasada, J. Kawamata, K. Sakoda and J. W. Haus, "A two-dimensional photonic laser," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38-2**, 2B, L157-L159 (1999).
- 2) K. Sakoda, M. Sasada, T. Fukushima, A. Yamanaka, N. Kawai and K. Inoue, "Detailed analysis of transmission and Bragg-reflection spectra of a two-dimensional photonic crystal with a lattice constant of 1.15 μm ," *J. Opt. Soc. Am.*, **16**, 3, 361-365 (1999).
- 3) Y. Miyoshi, M. Wada-Takeda, N. Kawai, K. Sakoda, K. Inoue, Z. Yuan, J. W. Haus, and H. Matsuo, "The photonic line defect mode in the square air-rod pseudo-triangular lattice revealed by far-infrared measurements," *Proc. of the 7th IEEE Conference on Terahertz Electronics* (IEEE, Washington, 2000) 253-255.
- 4) Aoki, M. Wada-Takeda, J. W. Haus, Z. Yuan, M. Tani, K. Sakai, N. Kawai, and K. Inoue, "The photonic dispersion of the pseudo-simple-cubic lattice revealed by THz time-domain measurements," *Proc. of the 7th IEEE Conference on Terahertz Electronics* (IEEE, Washington, 2000) 256-259.
- 5) K. Inoue, N. Kawai, Y. Sygimoto, N. Carlsson, N. Ikeda, and K. Asakawa, "Optical Properties of Different Types of GaAs-based Photonic Crystal Slabs and Their Application to Devices," in *Microphotonics -Materials, Physics and Applications-* (MRS Internat'l Symp. Vol. 637) ed. T.F. Krauss *etal.* (Material Research Society, Pennsylvania, 2001), E3.2, 1-12.
- 6) Y. Sugimoto, N. Carlsson, N. Ikeda, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, "Fabrication and Characterization of 2D AlGaAs Photonic Crystals with High Aspect Ratio Hole Patterns by Cl_2 RIBE," in *Microphotonics -Materials, Physics and Applications-* (MRS Internat'l Symp. Vol. 637) ed. T.F. Krauss *etal.* (Material Research Society, Pennsylvania, 2001), E5.10, 1-6.
- 7) S. Yamada, T. Koyama, Y. Katayama, N. Ikeda, Y. Sugimoto, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, "Observation of light propagation in two-dimensional photonic-crystal-based bent optical waveguides," *J. Appl. Phys.*, **89**, 4, 855-858 (2001).
- 8) N. Kawai, K. Inoue, N. Carlsson, N. Ikeda, Y. Sugimoto, K. Asakawa, and T. Takemori, "Confined Band Gap in a Air-Bridge Type of Two-Dimensional AlGaAs Photonic Crystal," *Phys. Rev. Lett.*, **86**, 11, 2289-2292 (2001).
- 9) N. Kawai, K. Inoue, N. Ikeda, N. Carlsson, Y. Sugimoto, K. Asakawa, S. Yamada, and Y. Katayama, "Transmittance and time-of-flight study of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -based photonic crystal waveguides," *Phys. Rev. B.*, **63**, 15, 153313; 1-4 (2001).
- 10) N. Carlsson, T. Takemori, K. Asakawa, and Y. Katayama, "Scattering method calculation of propagation modes in two-dimensional photonic crystals of finite thickness," *J. Opt. Soc. Am.*, **18**, 9, 1260-1267 (2001).
- 11) T. Aoki, M. Wada-Takeda, J. W. Haus, Z. Yuan, N. Kawai, and K. Inoue,

- “Terahertz time-domain study of a pseudo-simple-cubic photonic lattice,” *Phys. Rev. B*, **64**, 4, 045106; 1-4 (2001).
- 12) H. Kitahara, N. Tsumura, H. Kondo, M. Wada-Takeda, J. W. Haus, Z. Yuan, N. Kawai, K. Sakoda, and K. Inoue, “Terahertz wave dispersion in two-dimensional photonic crystals,” *Phys. Rev. B*, **64**, 4, 045202, 1-7 (2001).
 - 13) Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carlsson, N. Kawai, K. Inoue, and K. Asakawa, “AlGaAs-based two-dimensional photonic crystal with defect waveguides for miniaturized ultra-fast optical-pulse control/delay devices,” in *Proceedings of SPIE Symposium on Active and Passive Optical Components for WDM Communication*, **4532** (SPIE, Washington, 2001) 180-190.
 - 14) Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carlsson, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, “Theoretical and experimental investigation of straight defect-waveguides in AlGaAs-based air-bridge-type two-dimensional photonic crystal slabs,” *Appl. Phys. Lett.*, **79**, 25, 4286-4288 (2001).
 - 15) T. Iwai, K. Ishii and K. Inoue, “Numerical simulation of ordered polystyrene particles using radiation pressure and self-organization,” in *Proceedings of SPIE Symposium on Photonics Technology in the 21th Century*, **4598** (SPIE, Washington, 2001) 80-85.
 - 16) T. Iwai, K. Ishii, and K. Inoue, “Optical fabrications of ordered polystyrene particles using radiation pressure and self-organization,” in *Proceedings of SPIE Symposium on Photonics Technology in the 21th Century*, **4598** (SPIE, Washington, 2001) 94-100.
 - 17) Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carlsson, N. Kawai, K. Inoue, and K. Asakawa, “Light propagation characteristics of photonic crystal waveguide for miniaturized ultra-fast optical control/delay devices,” in *Proceedings of SPIE Symposium on Photonics Technology in the 21th Century*, **4598** (SPIE, Washington, 2001) 58-72.
 - 18) N. Carlsson, N. Ikeda, Y. Sugimoto, K. Asakawa, T. Takemori, N. Kawai, and K. Inoue, “sign and nano-fabrication of near-infrared 2D photonic crystal air-bridge structure,” *J. Optical and Quantum Electronics*, **34**, 123-128 (2002).
 - 19) Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carlsson, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, “Fabrication and characterization of different types of two-dimensional AlGaAs photonic crystal slabs,” *J. Appl. Phys.*, **91**, 3, 922-929 (2002).
 - 20) Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carlsson, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, “GaAs-based Two-Dimensional Photonic Crystal Slabs with Defect Waveguides for Planar Lightwave Circuit Applications,” *IEEE J. Quantum Electronics*, **91**, 760-769 (2002).
 - 21) Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carlsson, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue. “Experimental verification of guided modes in 60-degree-bent defect-waveguides in AlGaAs-based air-bridge-type two-dimensional photonic crystal slabs,” *J. Appl. Phys.*, **91**, 3477- 3479 (2002).
 - 22) K. Inoue, N. Kawai, Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carlsson, and K. Asakawa, “Observation of small group velocity in two-dimensional AlGaAs-based photonic crystal slabs,” *Phys. Rev. B*, **65**, 121308(R), 1-4 (2002).
 - 23) Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carlsson, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, “Light propagation characteristics of Y-branch defect-waveguides in AlGaAs-based air-bridge-type two-dimensional photonic crystal slabs,” *Opt. Lett.*

- 27, 388-390 (2002).
- 24) N. Ikeda, Y. Sugimoto, T. Yang, K. Asakawa, H. Oda, K. Inoue, and K. Ishida, "Band Efficiency Improvement of Defect Waveguides for Two-dimensional AlGaAs Photonic Crystal Membranes", in Proc. of 7th Optoelectronics and Communications Conference (Inst. Electr. Infom. & Commu. Eng., Tokyo, 2002) pp. 50-51.
 - 25) K. Inoue, T. Maruyama, K. Miyashita, K. Ishida, Y. Sugimoto, N. Ikeda, Y. Tanaka, Y. Watanabe, and K. Asakawa, "Ultra-miniature 60°-bent photonic-crystal waveguide of air-bridge: Low-loss at 1.3 μm due to the single guided-mode experimentally identified", submitted to Optics Letters.
 - 26) Y. Tanaka, Y. Sugimoto, N. Ikeda, T. Yang, Y. Watanabe, K. Asakawa, and K. Inoue, "Precisely controlled self-aligned selective-oxidation process in AlGaAs-based photonic crystal waveguides", submitted to Jpn. J. Appl. Phys.

[2] 国際学会 (*招待講演)

- 1) K. Inoue, "Laser action of two-dimensional photonic crystals," Internat'l Topical Workshop on Contemporary Photonic Technologies (CPT'99), Sendai, Jan. (1999), Extended Abstracts, 75-76. *
- 2) K. Asakawa. "Nanoprobe-assisted Growth/Processing of Quantum Well, Quantum Dot and Photonic Crystal for Future Photonic Devices," 1999 RCIQE Internat'l Seminar on Physics and Technology of Compound Semiconductor High-Speed, Optical and Quantum Devices, Hokkaido Univ., Feb., (1999). *
- 3) N. Kawai, N. Ikeda, M. Abe, N. Carlsson, T. Ishikawa, K. Asakawa, Y. Katayama, and K. Inoue, "Two-Dimensional AlGaAs Photonic Band Gap Crystal Test Device with Various Air-Rod Patterns," The 6th Internat'l Workshop on Femtosecond Technology (FST'99), (Makuhari-Messe, July, 1999): Abstracts, 212.
- 4) K. Inoue, N. Kawai, M. Sasada, N. Ikeda, N. Carlsson, K. Asakawa, S. Abe, S. Yamada, and Y. Katayama, "Characteristics of two-dimensional AlGaAs photonic crystals in a waveguide configuration for test devices," Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics'99 (Seoul, 1999-8); Summary of Papers, (IEEE, New Jersey, 1999-3) 563-564.
- 5) M. Sasada, K. Inoue, N. Kawai, and J. Kawamata, "Observation of phase-matched second-harmonic generation from organic particles in a two-dimensional photonic crystal," Internat'l Conference on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-II), (Sendai, 2000-3), Technical Digest, W3-5.
- 6) N. Kawai, K. Inoue, N. Ikeda, N. Carlsson, S. Abe, K. Asakawa, S. Yamada, and Y. Katayama, "Transmittance characteristics of slab-type of two-dimensional AlGaAs photonic crystals with stripe waveguides," Internat'l Conference on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-II), (Sendai, (2000-3), Technical Digest, W4-4.
- 7) N. Carlsson, N. Ikeda, T. Ishikawa, S. Abe, K. Asakawa, T. Takemori, Y. Katayama, N. Kawai, and K. Inoue, "Design and nano-fabrication of near-infrared 2D photonic crystal air-bridge structures," Internat'l Conference

- on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-II), (Sendai, 2000-3) Technical Digest, W4-7.
- 8) S. Yamada, T. Koyama, M. Suganuma, Y. Katayama, S. Abe, N. Ikeda, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, "Observation of propagation of light in finite-size two-dimensional photonic crystals," Internat'l Conference on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-II), (Sendai, 2000-3) Technical Digest, W4-8.
 - 9) T. Takemori, N. Carlsson, K. Asakawa, and Y. Katayama, "Calculation of optical modes in the 2D photonic crystals," Internat'l Conference on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-II), (Sendai, 2000-3) Technical Digest, W4-13.
 - 10) M. Wada, Y. Miyoshi, H. Kitahara, M. Suenaga, J. W. Haus, Z. Yuan, T. Iwamoto, K. Shirawati, S. Nishizawa, N. Kawaim, K. Sakoda, and K. Inoue, "THz spectroscopy of photonic band structures," Internat'l Conference on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-II), (Sendai, 2000-3) Technical Digest, W4-26.
 - 11) T. Aoki, M. Wada, J. W. Haus, Z. Yuan, M. Tani, K. Sakai, N. Kawai, and K. Inoue, "The photonic band structure of the pseudo-simple-cubic lattice revealed by THz time domain spectroscopy," Internat'l Conference on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-II), (Sendai, 2000-3) Technical Digest, W4-27.
 - 12) K. Inoue, M. Sasada, N. Kawai, and J. Kawamata, "Phase-Matched Second-Harmonic Generation in a Two-Dimensional Photonic Crystal," Internat'l Conference on Quantum Electronics and Laser Science (QELS'2000) (San Francisco, 2000-5) OSA Technical Digest, 3.
 - 13) J. W. Haus, Z. Yuan, T. Aoki, M. Wada, M. Tani, K. Sakai, N. Kawai, and K. Inoue, "THz spectroscopy of a pseudo-simple-cubic photonic band structure," Internat'l Conference on Quantum Electronics and Laser Science (QELS'2000) (San Francisco, 2000-5) OSA Technical Digest, 84-85. *
 - 14) N. Kawai, K. Inoue, M. Sasada, N. Ikeda, N. Carlsson, S. Abe, K. Asakawa, S. Yamada, and Y. Katayama, "Characterization of Two-dimensional AlGaAs photonic Crystals with Waveguides as a Test Device," Internat'l Conference on Quantum Electronics and Laser Science (QELS'2000) (San Francisco, 2000-5) OSA Technical Digest, 25-26.
 - 15) K. Inoue, "Nano-fabrication and characterization of slab type of 2-dimensional semiconductor photonic crystal," 7th Internat'l Workshop on Femtosecond Technology (FST-2000), (Tsukuba, 2000-6) Abstracts, 84-87. *
 - 16) N. Carlsson, N. Ikeda, Y. Sugimoto, N. Georgiev, T. Mozume, K. Asakawa, T. Takemori, N. Kawai, K. Inoue, and Y. Katayama, "Waveguiding in thin two-dimensional photonic crystal membranes," 7th Internat'l Workshop on Femtosecond Technology (FST-2000), (Tsukuba, 2000-6) : Abstracts, 186.
 - 17) H. Kitahara, Y. Miyoshi, M. Suenaga, M. Wada, J. W. Haus, Z. Yuan, N. kawai, K. Sakoda, and K. Inoue, "Dispersion relation of THz electromagnetic wave in photonic crystals," 7th Internat'l Workshop on Femtosecond Technology (FST-2000), (Tsukuba, 2000-6) Abstracts, 189.
 - 18) K. Asakawa, "Photonic Crystal at FESTA in Japan - A Step toward an Extremely Miniaturized Optical Pulse Control Device/Circuit," Internat'l

- Workshop on Photonic Crystals and Light Localization (Crete-Greece, 2000-6).*
- 19) N. Carlsson, N. Ikeda, T. Ishikawa, S. Abe, K. Asakawa, T. Takemori, Y. Katayama, N. Kawai, and K. Inoue, "Formation of 2D photonic crystal airbridge structures in AlGaAs-based semiconductor heterostructures," Internat'l Workshop on Photonic Crystals and Light Localization (Crete-Greece, 2000-6).
 - 20) K. Inoue, "Optical Properties of Different Types of GaAs-Based Photonic Crystal Slabs and Their Application to Devices," MRS Internat'l 2000-Fall Meeting (Boston, U. S. A., 2000-11), E 3.2. *
 - 21) Y. Sugimoto, N. Carlsson, N. Ikeda, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, "Fabrication and characterization of 2D AlGaAs photonic crystals with high aspect ratio hole patterns by Cl₂ RIBE," MRS Internat'l 2000-Fall Meeting (Boston, U. S. A., 2000-11), E 5. 10.
 - 22) N. Carlsson, Y. Sugimoto, N. Ikeda, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, "Numerical Simulation, Fabrication, Characterization of AlGaAs-Based 2-Dimensional Photonic Crystal Slab," 2001 RCIQE Internat'l Seminar on Advanced Semiconductor Devices and Circuits (Sendai, 2001-1).
 - 23) N. Carlsson, N. Ikeda, Y. Sugimoto, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, "Channel waveguides for guiding of near-infrared light in AlGaAs photonic crystal membranes," The 2001 March Meeting of the American Physical Society (Seattle, 2001-3).
 - 24) Y. Sugimoto, N. Carlsson, N. Ikeda, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, "Simulation, fabrication and characterization two-dimensional photonic crystal slab with defect waveguides for planar lightwave circuit applications," Euro Conference on Electromagnetic Crystal Structures and Confinement (PECS-III), (St. Andrew's- Scotland, 2001-6): Abstracts, 192.
 - 25) K. Inoue, N. Kawai, Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carlsson, and K. Asakawa, "Observation of low group velocity in two-dimensional AlGaAs photonic crystal," The 8th Internat'l Workshop on Femtosecond Technology (FST-2001), (Tsukuba, 2001-6): Abstracts, 90.
 - 26) N. Ikeda, Y. Sugimoto, N. Carlsson, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue. "Photonic crystal with defect waveguides for miniaturized planar light wave circuit," The 8th Internat'l Workshop on Femtosecond Technology (FST-2001), (Tsukuba, 2001-6): Abstracts, 177.
 - 27) N. Ikeda, Y. Sugimoto, N. Carlsson, K. Asakawa, N. Kawai, and K. Inoue, "Two-Dimensional AlGaAs Photonic Crystal Air-Bridge Structure with Defect Waveguides for Miniaturized Planar Light-Wave Circuit," CLEO/Pacific Rim'2001 (Makuhari-Messe, 2001-7): Extended Abstracts.
 - 28) Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carlsson, N. Kawai, K. Inoue, and K. Asakawa, "AlGaAs-based two-dimensional photonic crystal with defect waveguides for miniaturized ultra-fast optical -pulse control/delay devices," Internat'l Workshop on Active and Passive Optical Components for WDM Communication (Denver, U. S. A., 2001-8). *
 - 29) T. Iwai, K. Ishii, and K. Inoue, "Numerical simulation of ordered polystyrene particles using radiation pressure and self-organization," ISAP-Photonics and

- Applications; Photonics Technology in the 21th Century (Singapore, 2001-11).
- 30) T. Iwai, K. Ishii, and K. Inoue, "Optical fabrications of ordered polystyrene particles using radiation pressure and self-organization," ISAP-Photonics and Applications; Photonics Technology in the 21th Century (Singapore, 2001-11).
 - 31) Y. Sugimoto, K. Asakawa, and K. Inoue, "Light propagation characteristics of photonic crystal waveguide for miniaturized ultra-fast optical-pulse control/delay devices," ISAP-Photonics and Applications: Photonics Technology in the 21th Century (Singapore, 2001-11). *
 - 32) K. Asakawa, Y. Sugimoto, N. Ikeda, N. Carlsson, N. Kawai, and K. Inoue, "Two-dimensional photonic crystals for application to extremely miniaturized planar light wave circuits," 7th Internat'l Symposium on Advanced Physical Fields (APF-7) (Tsukuba, 2001-11). *
 - 33) K. Inoue, "Optical Properties of AlGaAs-Based Two-Dimensional Photonic Crystal Slabs and Their Application to Novel Devices," 3rd RIES Internat'l Symposium on Photonics (Hokkaido University, 2001-12): Abstracts, 35-36.*
 - 34) K. Asakawa, Y. Sugimoto, N. Carlsson, N. Ikeda, T. Yang, S. Kohmoto, N. Nakamura, and K. Inoue, "Nano-technologies for ultra-small and ultra-fast photonic devices composed of photonic crystals and quantum dots," 2002 RCIQE Internat'l Symposium on Advanced Semiconductor Devices and Circuits (Hokkaido-University, 2002-2). *
 - 35) N. Ikeda, Y. Sugimoto, Y. Watanabe, T. Yang, Y. Tanaka, K. Asakawa, H. Oda, K. Inoue, and K. Ishida, "Transmission Efficiency Improvement of Defect Waveguides at Bent for Two-Dimensional AlGaAs Photonic Crystal Membranes," The 9th Internat'l workshop on Femto-second Technology ST-2002), (Tsukuba, 2002-6).
 - 36) Y. Watanabe, Y. Sugimoto, N. Ikeda, T. Yang, Y. Tanaka, K. Inoue, and K. Asakawa, "Transmission properties of light propagation through waveguide bends in two-dimensional photonic crystal slabs," The 9th Internat'l Workshop on Femtosecond Technology (FST-2002) (Tsukuba, 2002-6).
 - 37) N. Ikeda, Y. Sugimoto, T. Yang, K. Asakawa, H. Oda, K. Inoue, and K. Ishida, "Band Efficiency Improvement of Defect Waveguides for Two-dimensional AlGaAs Photonic Crystal Membranes," The 7th Optoelectronics and Communications Conference (OECC-2002) (Yokohama, 2002-7).
 - 38) K. Inoue, Y. Sugimoto, and K. Asakawa, "Optical- and Pulse-propagation Characteristics of AlGaAs-based 2D Photonic Crystal Slabs and Waveguide-devices", The 4th International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-IV), (Los Angeles, U. S. A., 2002-10), Abstract, pp. 18.
 - 39) K. Asakawa, H. Nakamura, Y. Sugimoto, S. Lan, N. Ikeda, Y. Watanabe, T. Yang, Y. Tanaka, H. Ishikawa, and K. Inoue, "Key Issues for Ultra-Fast All-Optical Devices Based on Two-Dimensional Photonic Crystal Slabs", The 4th International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-IV), (Los Angeles, U. S. A., 2002-10), Abstract, pp. 36.
 - 40) Y. Sugimoto, N. Ikeda, Y. Watanabe, T. Yang, Y. Tanaka, K. Asakawa, H. Oda, K. Inoue, and K. Ishida, "Enhanced Transmission through Two-Dimensional AlGaAs Photonic Crystal Membrane Bent Waveguides", The 4th

[3] 国内発表 (*招待講演)

(a) 学会

- 1) 井上久遠, 「フォトニック結晶の基礎と応用—概観」, 電子情報通信学会ソサエティ大会, 山梨大学, 甲府, 1998.9.*
- 2) 笹田道秀, 川俣純, 河合紀子, 迫田和彰, 井上久遠, 「色素溶液を満たした2次元フォトニック結晶のレーザー発振 III :溶液の屈折率効果」, 1998年秋季日本物理学会分科会, 沖縄国際大学, 1998.9.
- 3) 三好佳伸, 青木健光, 和田三男, 河合紀子, 迫田和彰, 井上久遠, 「線欠陥を含むエアロッド・フォトニック三角格子」, 1998年秋季日本物理学会分科会, 沖縄国際大学, 1998.9.
- 4) 浅川潔, 池田直樹, Niclas Carlsson, 石川知則, 河合紀子, 井上久遠, 山田重樹, 片山良史, 「エアロッド三角格子のAlGaAs2次元フォトニック結晶の作製」, 1999年秋季第60回応用物理学会学術講演会, 甲南大学, 神戸, 1999.9.
- 5) N. Carlsson, T. Takemori, K. Asakawa, Y. Katayama, “A numerical study of light propagation in waveguide embedded in 2D photonic crystals,” 1999年秋季第60回応用物理学会学術講演会, 甲南大学, 神戸, 1999.9.
- 6) 山田重樹, 小山享宏, 菅沼正之, 片山良史, 阿部真一, 池田直樹, 浅川潔, 河合紀子, 井上久遠, 「2次元フォトニック結晶内の光伝播特性の観察」, 2000年春季第47回応用物理学会連合講演会, 青山学院大学, 2000.3.
- 7) N. Carlsson, N. Ikeda, T. Ishikawa, S. Abe, K. Asakawa, T. Takemori, Y. Katayama, N. Kawai, and K. Inoue, “2D photonic crystal airbridge structures for near-infrared applications,” 2000年春季第47回応用物理学会連合講演会, 青山学院大学, 2000.3.
- 8) 河合紀子, 井上久遠, 池田直樹, Niclas Carlsson, 阿部真一, 浅川潔, 「スラブ型半導体2次元フォトニック結晶の特性」, 2000年春季日本物理学会講演会, 関西大学, 2000.3.
- 9) 笹田道秀, 河合紀子, 川俣純, 井上久遠, 「二次元フォトニック結晶における位相整合第二高調波発生」, 2000年春季日本物理学会講演会, 関西大学, 2000.3.
- 10) 和田三男, 三好佳伸, 北原英明, 末永雅則, J. W. Haus, Z. Yuan, 谷正彦, 坂井清美, 河合紀子, 迫田和彰, 井上久遠, 「フォトニック結晶中のTHz電磁波の分散関係」, 2000年春季日本物理学会講演会, 関西大学, 2000.3.
- 11) 杉本喜正, 池田直樹, Niclas Carlsson, 浅川潔, 河合紀子, 井上久遠, 「入射導波路付2次元AlGaAsフォトニック結晶の作製と評価」, 2000年電子情報通信学会ソサエティ大会, 名古屋工業大学, 2000.9.
- 12) 竹永勝宏, 井上久遠, 河合紀子, 川辺豊, 「二次元フォトニック結晶における位相整合第二高調波発生 II.後方, 前方散乱配置での比較」, 第55回日本物理学会年次大会, 新潟大学, 2000.9.

- 13) 河合紀子, 井上久遠, 池田直樹, Niclas Carlsson, 杉本喜正, 淺川潔, 「エアブリッジ型 2 次元フォトニック結晶の光学特性」, 第 55 回日本物理学会年次大会, 新潟大学, 2000.9.
- 14) N. Carlsson, 池田直樹, 杉本喜正, 淺川潔, 河合紀子, 井上久遠, 竹森直, 片山良史, “Morphological and optical properties of 2D photonic crystal membranes,” 第 61 回応用物理学会学術講演会, 北海道工業大学, 2000.9.
- 15) 古西宏治, 岩井俊昭, 石井勝弘, 井上久遠, 「光放射圧を利用した微粒子配列の実験的検討」, 2001 年春季第 48 回応用物理学会関係連合講演会, 明治大学, 駿河台, 2001.3.
- 16) 福田奈月, 石井勝弘, 岩井俊昭, 井上久遠, 「光放射圧を利用した微粒子配列のシュミレーション」, 2001 年春季第 48 回応用物理学会関係連合講演会, 明治大学, 駿河台, 2001.3
- 17) 杉本喜正, Niclas Carlsson, 池田直樹, 淺川潔, 河合紀子, 井上久遠, 「AlGaAs エアブリッジ型 2 次元フォトニック結晶への欠陥導波路の導入」, 2001 年春季第 48 回応用物理学会関係連合講演会, 明治大学, 駿河台, 2001.3.
- 18) 淺川潔, 杉本喜正, 池田直樹, Niclas Carlsson, 「作製技術はフォトニック結晶を生かせるか? —半導体ナノ加工技術から—」, 2001 年春季第 48 回応用物理学会関係連合講演会, 明治大学, 駿河台, 2001.3.
- 19) 井上久遠, 「イントロダクション: フォトニック結晶の研究の現状概観」, 日本物理学会 2001 年秋の分科会; シンポジウム, 徳島文理大学, 2001.9.
*
- 20) 杉本喜正, 池田直樹, Niclas Carlsson, 淺川潔, 河合紀子, 井上久遠, 「AlGaAs 2 次元フォトニック結晶における低群速度の観察」, 2001 年秋季第 62 回応用物理学会学術講演会, 愛知工業大学, 2001.9.
- 21) 福田奈月, 石井勝弘, 岩井俊昭, 井上久遠, 「光放射圧を利用した微粒子配列のシュミレーション(II)」, 2001 年秋季第 62 回応用物理学会学術講演会, 愛知工業大学, 2001.9.
- 22) 古西宏治, 岩井俊昭, 石井勝弘, 井上久遠, 「光放射圧を利用した微粒子配列の実験的検討」, 2001 年秋季第 62 回応用物理学会学術講演会, 愛知工業大学, 2001.9.
- 23) 池田直樹, 小田久哉, 杉本喜正, 楊濡, 井上久遠, 石田宏司, 淺川潔, 「AlGaAs 系 2 次元フォトニック結晶曲がり導波路の高効率化」, 2002 年春季第 49 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学, 湘南, 2002.3.
- 24) 淺川潔, 杉本喜正, 池田直樹, 「半導体 2 次元フォトニック結晶のナノ・プロセスと極微小光回路への応用」, 2002 年春季第 49 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学, 湘南, 2002.3.*
- 25) 小田久哉, 石田宏司, 井上久遠, 杉本喜正, 池田直樹, 淺川潔, 「エアブリッジ型 AlGaAs フォトニック結晶スラブで作製した曲がり導波路の特性」, 2002 年電子情報通信学会総合大会, 早稲田大学, 2002.3.
- 26) 田中 有, 杉本喜正, 池田直樹, 楊 涛, 渡辺慶規, 井上久遠, 丸山大志, 宮下和也, 石田宏司, 淺川 潔, 「酸化クラッド型 AlGaAs 系二次

- 元フォトニック結晶導波路の作製」、2002 年秋季第 63 回応用物理学会
 学術講演会、新潟大学、2002.9.
- 27) 井上久遠、杉本喜正、丸山大志、宮下和也、石田宏司、池田直樹、田中
 有、浅川 潔、「広い波長領域の透過スペクトルの測定による AlGaAs
 フォトニック結晶スラブ導波路の特性評価」、2002 年秋季第 63 回応用
 物理学会学術講演会、新潟大学、2002.9.
 - 28) 浅川 潔、中村 均、杉本喜正、中村有水、渡辺慶規、S. Lan, 池田直
 樹、田中 有、楊 涛、大河内俊介、金本恭三、山本宗継、小森和弘、
 石川 浩、井上久遠、「フォトニック結晶・量子ドット融合対称マッハツ
 エンダー型光スイッチ：PC-SMZ（1）狙いと設計・作製の課題」、2002
 年秋季第 63 回応用物理学会学術講演会、新潟大学、2002.9.
 - 29) 渡辺慶規、中村 均、杉本喜正、山本宗継、S. Lan, 小森和弘、浅川 潔、
 井上久遠、「フォトニック結晶・量子ドット融合対称マッハツエンダー型
 光スイッチ：PC-SMZ（2）低群速度利用光スイッチ設計のための光干
 渉シミュレーション」、2002 年秋季第 63 回応用物理学会学術講演会、
 新潟大学、2002.9.
 - 30) 池田直樹、杉本喜正、田中 有、井上久遠、宮下和也、丸山大志、石田宏
 司、渡辺慶規、浅川 潔、「高均一・大面積 AlGaAs 系エア・ブリッジ型 2
 次元フォトニック結晶スラブ導波路の作製」、2003 年春季第 50 回応用
 物理学関係連合講演会、神奈川大学、横浜、2003.3.
 - 31) 石田宏司、宮下和也、丸山大志、井上久遠、杉本喜正、池田直樹、田中
 有、渡辺慶規、浅川 潔、「大面積 AlGaAs 系エア・ブリッジ 2 次元フォ
 トニック結晶スラブ導波路の広帯域透過特性」、2003 年春季第 50 回
 応用物理学関係連合講演会、神奈川大学、横浜、2003.3.

(b) 研究会、シンポジウム

- 1) 井上久遠、「フォトニック結晶と輻射場の制御」、第 9 回マイクロ化学
 懇談会(科学技術振興事業団)、東京、1998. 11.*
- 2) 浅川潔、河合紀子、井上久遠、「半導体 2 次元フォトニック結晶の作製」、
 特定領域研究 B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第 1 回公開
 シンポジウム、富士見ハイツ、1999. 2.
- 3) 井上久遠、笹田道秀、河合紀子、川俣純、迫田和彰、「2 次元フォトニッ
 ク結晶におけるレーザー作用」、特定領域研究 B「フォトニック結晶の
 開発と輻射場の制御」第 1 回公開シンポジウム、富士見ハイツ、1999.2.
- 4) 浅川潔、池田直樹、Niclas Carlsson、阿部真一、河合紀子、井上久遠、山田
 重樹、片山良史、「半導体導波路 2 次元フォトニック結晶—試料作製—」、
 特定領域研究 B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」、第 2 回公
 開シンポジウム、北海道大学、1999.7.
- 5) 井上久遠、河合紀子、笹田道秀、迫田和彰、浅川潔、池田直樹、Niclas
 Carlsson、阿部真一、片山良史、「半導体導波路 2 次元フォトニック結晶
 —特性評価—」、特定領域研究 B「フォトニック結晶の開発と輻射場の
 制御」、第 2 回公開シンポジウム、北海道大学、1999.7.

- 6) 浅川潔, 「超高速光デバイスのための高制御ナノ量子構造—新材料量子井戸・位置制御量子ドット・2次元フォトリック結晶」, 第4回フェムト秒光エレクトロニクス研究会, 東京, 1999.9.*
- 7) 浅川潔, 杉本喜正, 池田直樹, 「半導体微細構造のドライエッチング—高制御フォトリック結晶を目指して—」, 第27回, 冬季講習会「フォトリック結晶と極微周期構造の光学」, 東京, 2000.2.*
- 8) 井上久遠, 川俣純, 浅川潔, 「フォトリック結晶における輻射場と物質の相互作用」, 特定領域研究B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第3回公開シンポジウム, 箱根, 2000.2.
- 9) 井上久遠, 竹永勝宏, 河合紀子, 川俣純, 川辺豊, 「フォトリック結晶における位相整合, などによる第二高調波発生の増強効果」, 特定領域研究B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第4回公開シンポジウム, 札幌, 2000.7.
- 10) 杉本喜正, 浅川潔, 池田直樹, Niclas Carlsson, 河合紀子, 井上久遠, 「種々のスラブ型入出射導波路付GaAs系フォトリック結晶の作製と光学特性及び相互比較」, 特定領域研究B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第4回公開シンポジウム, 札幌, 2000.7.
- 11) 浅川潔, 杉本喜正, 池田直樹, Niclas Carlsson, 河合紀子, 井上久遠, 「2次元フォトリック結晶スラブ—3種のクラッド構造の作製と特性比較—」, 特定領域研究B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム, 主婦会館, 東京, 2001.1.
- 12) 山田重樹, 小山享宏, 片山良史, 池田直樹, 杉本喜正, 浅川潔, James B. Cole, 顔小洋, 「擬2次元フォトリック結晶を用いた光—光スイッチ素子作製への試み」, 特定領域研究B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム, 主婦会館, 東京, 2001.1.
- 13) 井上久遠, 河合紀子, 竹永勝宏, 杉本喜正, Niclas Carlsson, 浅川潔, 「AlGaAsフォトリック結晶スラブの特性と群速度の測定」, 特定領域研究B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム, 主婦会館, 東京, 2001.1.
- 14) 井上久遠, 河合紀子, 杉本喜正, 池田直樹, Niclas Carlsson, 浅川潔, 「AlGaAsフォトリック結晶スラブにおける低群速度の観測」, 特定領域研究B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第6回公開シンポジウム, ヒルサイドホテル富士見, 2001.7.
- 15) 浅川潔, 杉本喜正, 池田直樹, Niclas Carlsson, 河合紀子, 井上久遠, 「エアブリッジ・フォトリック結晶スラブにおける線欠陥導波路の特性」, 特定領域研究B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第6回公開シンポジウム, ヒルサイドホテル富士見, 2001.7.
- 16) 岩井俊昭, 古西宏治, 石井勝弘, 福田奈月, 井上久遠, 「光の放射圧と自己組織化を利用した微粒子配列」, 特定領域研究B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第6回公開シンポジウム, ヒルサイドホテル富士見, 2001.7.
- 17) 井上久遠, 「フォトリック結晶のデバイスの可能性」, 電子情報通信学

- 会技術時限専門委員会シンポジウム「次世代情報通信ネットワークを支えるフォトニックルータ技術」, 支笏湖, 2001.8.*
- 18) 浅川潔, 杉本喜正, 池田直樹, 井上久遠, 「光半導体2次元フォトニック結晶の作製・評価と極微小・超高速光制御素子/回路への応用」, 第82回微小光学研究会「微細構造の微小光学」, 東京国際交流会議場, 2001.11.*
 - 19) 浅川潔, 杉本喜正, 池田直樹, Niclas Carlsson, 河合紀子, 井上久遠, 「ナノ量子構造と集積光デバイスへの新展開ーフォトニック結晶と量子ドットの融合」, 第3回光材料・応用技術研究会, 熱海, 2001.11.*
 - 20) 浅川潔, 杉本喜正, 池田直樹, 楊濡, 河本滋, 中村均, 井上久遠, 「集積ナノフォトニック・デバイスの作製と応用」, 第4回集積光デバイス技術研究会, 通信総合研究所, 2001.12.*
 - 21) 杉本喜正, 池田直樹, 楊濡, 浅川潔, 井上久遠, 「2次元フォトニック結晶のナノ加工・作製・評価ー極微小・平面光素子/回路への応用」, 次世代リソグラフィ技術研究委員会, 東京, 2001.12.*
 - 22) 浅川潔, 杉本喜正, 池田直樹, 楊濡, 渡辺慶規, 井上久遠, 「フォトニック結晶の解析用国産ソフトウェアを目指して」, 特定領域研究B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第7回公開シンポジウム, コープイン京都, 2002.1.*
 - 23) 井上久遠, 岩井俊昭, 川俣純, 浅川潔, 「フォトニック結晶における輻射場と物質との相互作用」, 特定領域研究B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第7回公開シンポジウム, コープイン京都, 2002.1.
 - 24) 井上久遠, 河合紀子, 浅川潔, 杉本喜正, 池田直樹, Niclas Carlsson, 「エアブリッジ型型フォトニック結晶で作製した種々の導波路の特性」, 特定領域研究B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第7回公開シンポジウム, コープイン京都, 2002.1.
 - 25) 岩井俊昭, 石井勝弘, 井上久遠, 「光の放射圧と自己組織化を利用した微粒子配列法の開発」, 特定領域研究B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第7回公開シンポジウム, コープイン京都, 2002.1.
 - 26) 井上久遠, 河合紀子, 楊濡, 杉本喜正, 池田直樹, 浅川潔, 「半導体フォトニック結晶スラブにおけるフェムト秒光パルスの伝搬特性」, 第5回超高速エレクトロニクス研究会, 東京, 2002.6.*

[4] 解説等

- 1) 井上久遠, 「10年の歴史をもつフォトニック結晶」, 日経エレクトロニクス, 11月号, 62-63, (1998).
- 2) 井上久遠, 「フォトニック結晶の基礎と応用ー概観ー」, 1998年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 講演論文集, SC-5-1, 398-399, (1998).
- 3) 迫田和彰, 笹田道秀, 川俣純, 井上久遠, 「フォトニック結晶の光学応答ー群速度異常による増強効果ー」, 日本物理学会誌, **50**, 11, 893-896, (1999).
- 4) 迫田和彰, 井上久遠, 「フォトニック結晶のレーザー動作」, 応用物理学

- 会誌, 第 68 卷, 12 号, 1372-1375, (1999).
- 5) 井上久遠, 「フォトニック結晶による光の場の制御」, 表面科学学会誌, 第 22 卷, 11 号, 702-709, (2001).
 - 6) 岩井俊昭, 古西宏治, 石井勝弘, 井上久遠, 「光の放射圧と自己組織化を利用した微粒子配列」, レーザー研究, 第 30 卷, 2 号, 70-74 (2002).
 - 7) 井上久遠, 「フォトニック結晶による光制御の最新技術」, 光学, 第 31 卷, 5 号, 410-415, (2002).
 - 8) 井上久遠, 「フォトニック結晶の概観」, ナノテクノロジーハンドブック, III 編, 第 2 章, 第 1 節, (2003) 印刷中.
 - 9) 浅川潔, 石塚誠, 「ナノフォトニックテクノロジー; フォトニック結晶と量子ドット」, 月刊オプトエレクトロニクス, 4 月特集号(次世代通信用超高速光デバイスへの挑戦), (2002).
 - 10) 井上久遠, 「フォトニック結晶の概観」, O プラス E, 第 25 卷, No. 2, 146-152. (2003).
 - 11) 浅川 潔, 杉本喜正, 「2 次元フォトニック結晶スラブ導波路と光集積回路」, O プラス E, 第 25 卷, No. 2, 191-197, (2003).

[5] 単行本 (単著, 共著の別)

- 1) 浅川潔, 杉本喜正, 池田直樹, 「フォトニック結晶のナノ加工技術と 2 次元結晶の特性」, フォトニック結晶とその応用, (シーエムシー出版, 2002), 第 11 章.

[6] その他

6-1 受賞関係, 特筆すべき事項

- 1) K. Inoue, K. Asakura, et al, Best Contributed Paper Award at 3rd International Conference on Electromagnetic Crystal Structures –PECSIII (St. Andrews, 2001-6), “Simulation, fabrication and characterization of two-dimensional photonic crystal slab with defect-waveguides for planar lightwave circuit applications”

6-2 各班間との連携と共同研究の成果

- 1) A-1 イ班の大高・迫田との共同研究-6 編の共著論文, 解説 (実験の理論的解析)
- 2) A-3 イ班の武田との共同研究-5 編の共著論文 (試料開発の共同設計, 解析)

6-3 関連した国際学会, シンポジウムの組織委員, プログラム委員

- 1) 1999 年 (井上・浅川): 第 2 回フェムト秒テクノロジー国際ワークショップ (FST-1999), Tsukuba, 1999-6: 組織委員, プログラム委員
- 2) 2000 年 (井上・浅川): 第 3 回フェムト秒テクノロジー国際ワークショップ (FST-2000), Makuhari-Messe-Chiba, 2000-7: 組織委員, プログラム委員

- 3) 2000年(井上): 第2回 Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-II) 国際学会 (Sendai, 2000-3): 組織委員長, プログラム委員
- 4) 2001年(井上・浅川): 第4回フェムト秒テクノロジー国際ワークショップ (FST-2001), Tsukuba, 2001-6: 組織委員, プログラム委員
- 5) 2001年(井上): 第3回 Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-III) 国際学会 (St. Andrews, 2001-6): 国際アドバイザー委員
- 6) 2002年(井上): 第5回フェムト秒テクノロジー国際ワークショップ (FST-2002), Tsukuba, 2002-7: 組織委員, プログラム委員
- 7) 2003年(井上): 第6回フェムト秒テクノロジー国際ワークショップ (FST-2003), Makuhari-Messe, Chiba, 2003-7: 組織委員, プログラム委員

A-1 イ班

[1] 原著論文

- 1) T. Ueta, K. Ohtaka, N. Kawai, and K. Sakoda, "Limits on quality factors of localized defect modes in photonic crystals due to dielectric loss," *J. Appl. Phys.*, **84**, 6299-6304(1998).
- 2) H. Miyazaki and K. Ohtaka, "Near-field images of a monolayer of periodically arrayed dielectric spheres," *Phys. Rev.*, B **58**, 6920-6937(1998).
- 3) K. Ohtaka, T. Ueta and K. Amemiya, "Calculation of photonic bands using vector cylindrical waves and reflectivity of light for an array of dielectric rods," *Phys. Rev.*, B **57**, 2550-2568(1998).
- 4) R. Shimada, T. Koda, T. Ueta, and K. Ohtaka, "Energy spectra in dual-periodic multilayer structures," *J. Phys. Soc. Jpn.*, **67**, 3414-3419(1998).
- 5) K. Ohtaka, "Density of states of slab photonic crystals and the laser oscillation in photonic crystals," *J. Lightwave Tech.*, **17**, 2161-2169(1999).
- 6) K. Inoue, M. Sasada, J. Kawamata, K. Sakoda, and J. W. Haus, "A two-dimensional photonic crystal laser," *Jpn. J. Appl. Phys.* **38**, L157-L159 (1999).
- 7) K. Sakoda, M. Sasada, T. Fukushima, A. Yamanaka, N. Kawai, and K. Inoue, "Detailed analysis of transmission and Bragg reflection spectra of a two-dimensional photonic crystal with a lattice constant of 1.15 mm," *J. Opt. Soc. Am.* **16**, 361-365 (1999).
- 8) K. Sakoda, K. Ohtaka, and T. Ueta, "Low-threshold laser oscillation due to group-velocity anomaly peculiar to two- and three-dimensional photonic crystals," *Opt. Express*, **12**, 481-489(1999).
- 9) K. Sakoda, "Enhanced light amplification due to group-velocity anomaly peculiar to two- and three-dimensional photonic crystals," *Opt. Express*, **4**, 167-176 (1999).
- 10) R. Shimada, A. Imada, T. Fujimura, K. Edamatsu, T. Itoh, K. Ohtaka, and T. Takeda, "Self-assembled polystyrene microparticle layers as two-dimensional photonic crystal," *Molecular Crystal and Liquid Crystal*, **37**, 95(1999).
- 11) K. Ohtaka, Y. Suda, S. Nagano, T. Ueta, A. Imada, T. Koda, J. S. Bae, K. Mizuno, S. Yano, and Y. Segawa, "Photonic band effects in a two-dimensional array of dielectric spheres in the millimeter region," *Phys. Rev. B*, **61**, 8,

- 5267-5279(2000).
- 12) H. T. Miyazaki, H. Miyazaki, K. Ohtaka, and T. Sato, "Photonic band in two-dimensional lattices of micrometer-sized spheres mechanically arranged under a scanning electron microscope," *J. Appl. Phys.*, **87**, 7152-7158(2000).
 - 13) T. Fujimura, T. Itoh, A. Imada, R. Shimada, T. Koda, N. Chiba, H. Muramatsu, H. Miyazaki, and K. Ohtaka, "Near-field optical images of ordered polystyrene particle layers and their photonic band effect," *J. Luminescence*, **87-89**, 954-956(2000).
 - 14) T. Ochiai and K. Sakoda, "Dispersion relation and optical transmittance of a hexagonal photonic crystal slab," *Phys. Rev. B*, **63**, 125107, 1-7 (2001).
 - 15) S. Yano, Y. Segawa, J. S. Bae, K. Mizuno, H. Miyazaki, K. Ohtaka, and S. Yamaguchi, "Quantized States in Single Quantum Well Structure of Photonic Crystals," *Phys. Rev. B*, **63**, 153316-153319(2001).
 - 16) E. Miyai and K. Sakoda, "Quality factor of localized defect modes in a photonic crystal slab on a low-index dielectric substrate," *Opt. Lett.* **26**, 740-742 (2001).
 - 17) H. Kitahara, N. Tsumura, H. Kondo, M. Wada-Takeda, J. W. Haus, Z. Yuan, N. Kawai, K. Sakoda, and K. Inoue, "Terahertz wave dispersion in two-dimensional photonic crystals," *Phys. Rev. B*, **64**, 045202, 1-7 (2001).
 - 18) K. Sakoda, N. Kawai, T. Ito, A. Chutinan, S. Noda, T. Mitsuyu, and K. Hirao, "Photonic bands of metallic systems. I. Principle of calculation and accuracy," *Phys. Rev. B*, **64**, 045116, 1-8 (2001).
 - 19) T. Ito and K. Sakoda, "Photonic bands of metallic systems. II. Features of surface plasmon polaritons," *Phys. Rev. B*, **64**, 045117, 1-8 (2001).
 - 20) T. Ochiai and K. Sakoda, "Nearly-free-photon approximation for two-dimensional photonic crystal slabs," *Phys. Rev. B*, **64**, 045108, 1-11(2001).
 - 21) R. Shimada, T. Koda, T. Ueta, and K. Ohtaka, "Strong localization of Bloch photons in dual-periodic dielectric multilayer structures," *J. Appl. Phys.*, **90**, 3905-3909(2001).
 - 22) K. Ohtaka and S. Yamaguti, "Theoretical study of Smith-Purcell effect involving photonic crystal," *Optics and Spectroscopy*, **91**, 3, C, 506-512 (2001).
 - 23) K. Ohtaka and S. Yamaguti, "Smith-Purcell radiation from a charge running near the surface of a photonic crystal," *Optical and Quantum Electronics*, **34**, 135-250 (2002).
 - 24) F. Lopez-Tejeira, T. Ochiai, K. Sakoda, and J. Sanchez-Dehesa, "Symmetry characterization of eigenstates in opal-based photonic crystals," *Phys. Rev. B*, **65**, 195110, 1-8 (2002).
 - 25) E. Miyai and K. Sakoda, "Localized defect modes with high quality factors in a photonic crystal slab on a low-index dielectric substrate," *Jpn. J. Appl. Phys.* **41**, L694-L696 (2002).
 - 26) S. Yamaguti, J. Inoue, and K. Ohtaka, "Role of photonic crystal used in the laser acceleration and free electron laser," *Phys. Rev. B* (in press).
 - 27) T. Kondo, M. Hangyo, S. Yamaguti, S. Yano, Y. Segawa, and K. Ohtaka, "Transmission characteristics of a two-dimensional photonic crystal of dielectric sphere array using sub-terahertz time domain spectroscopy," *Phys.*

Rev. B (in press).

- 28) K. Sakoda, "Enhancement of quadrature-phase squeezing in photonic crystals," J. Opt. Soc. Am. B (in press).

[2] 国際学会(*招待講演)

- 1) K. Ohtaka, "Density of states of slab photonic crystals and the laser oscillation in photonic crystals," WECS99 (Workshop of Electromagnetic Crystal Structure, (Laguna Beach, USA, 1999-1). *
- 2) K. Sakoda, "Enhanced light amplification due to group-velocity anomaly in two-dimensional photonic crystals," Quantum Electronics and Laser Science Conference, (Baltimore, USA, 1999-5).
- 3) K. Sakoda, K. Ohtaka, and T. Ueta, "Low-threshold laser oscillation due to group-velocity anomaly in a two-dimensional photonic crystal," Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, (Seoul, Korea, 1999-9).
- 4) N. Kawai, K. Sakoda, A. Chutinan, S. Noda, T. Mitsuyu, and K. Hirao, "Dispersion relations and transmission spectra of a two-dimensional photonic crystal composed of metallic rods," Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, (Seoul, Korea, 1999-9).
- 5) T. Ochiai, T. Itoh, K. Sakoda, "Properties of leaky modes in two-dimensional photonic crystals of a slab type," International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, (Sendai, Japan, 2000-9).
- 6) T. Itoh and K. Sakoda, "Band calculation of three-dimensional photonic crystals by finite-difference time-domain method," International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, (Sendai, Japan, 2000-3).
- 7) E. Miyai, T. Itoh, K. Sakoda, "Localized defect modes in the slabs of two-dimensional photonic crystals," International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, (Sendai, Japan, 2000-3).
- 8) K. Sakoda, "Low-threshold lasing due to group-velocity anomaly in two-dimensional photonic crystals," International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, (Sendai, Japan, (2000-3). *
- 9) K. Sakoda, "Enhanced quadrature-phase squeezing due to group-velocity anomaly in photonic crystals," Quantum Electronics and Laser Science Conference, (San Francisco, USA, 2000-5).
- 10) T. Ochiai and K. Sakoda, "Band structure and optical transmittance of leaky modes in two-dimensional photonic crystals of a slab type," Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS 2000), (San Francisco, USA, 2000-5),
- 11) T. Ochiai and K. Sakoda, "Band structure of guided and leaky modes in two-dimensional photonic crystals of a slab type," The European Conference on Lasers and Electro-Optics, (Nice, France, 2000-9).
- 12) K. Ohtaka, "Radiation from a high-speed charged particle running near a photonic crystal," PECS2000 (Photonic and Electromagnetic Crystal Structure), (Sendai, Japan, 2000-3). *
- 13) K. Ohtaka, "Theoretical study of Smith-Purcell effect involving photonic crystal," ICQO2000 (International Conference on Quantum Optics, 2000), (Minsk, Belarus, 2000-5). *

- 14) K. Sakoda, "Enhanced quadrature-phase squeezing due to group-velocity anomaly in photonic crystals," Technical Digest of 2000 Quantum Electronics and Laser Science Conference, 81 (2000).
- 15) T. Ochiai and K. Sakoda, "Band structure and optical transmittance of leaky modes in two-dimensional photonic crystals of a slab type," Technical Digest of 2000 Quantum Electronics and Laser Science Conference, 118-119 (2000).
- 16) T. Ochiai and K. Sakoda, "Band structure of guided and leaky modes in two-dimensional photonic crystal of a slab type," Technical digest of 2000 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe, 197 (2000).
- 17) K. Ohtaka, "Smith-Purcell radiation from metallic and dielectric photonic crystals," 4th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, Makuhari, Japan, (2001-7).*
- 18) T. Ito and K. Sakoda, "Extremely small group velocity realized with surface plasmon polaritons in metallic photonic crystals," Quantum Electronics and Laser Science Conference, (Baltimore, USA, 2001-5).
- 19) T. Ochiai, T. Ito, and K. Sakoda, "Quality Factors of Leaky Eigenmodes in Photonic Crystal Slabs," Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, (Tokyo, Japan, 2001-7).
- 20) E. Miyai and K. Sakoda, "Localized Defect Modes with High Q in a Photonic Crysta, Slab on a Low-Index Dielectric Substrate," Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, (Makuhari, Japan, 2001-7).
- 21) K. Ohtaka, "Density of states of photonic crystals and its effects on lasing and electron-photon interaction," ICQO2000 (International Conference on Quantum Optics, 2002), (Minsk, Belarus, 2002-5). *
- 22) K. Ohtaka, "Energy loss spectrum from a traveling electron due to the emission of photons," WBW2002 (Werner Brandt Workshop on Charge Scattering, 2002), (Namur, Belgium 2002-6). *
- 23) K. Sakoda and J. W. Haus, "Fractional decay of population inversion and spectral shift of superradiance in photonic crystals with pencil-like excitation," International Quantum Electronics Conference, (Moscow, Russia 2002-1).
- 24) K. Sakoda, "Quadrature-phase squeezing in photonic crystals," 11th International Laser Physics Workshop, (Bratislava, Slovakia 2002-7). *
- 25) K. Sakoda, "Symmetry of crystal structure and symmetry of electromagnetic eigenmodes," Photonic Crystals Down Under, (Canberra, Australia, 2002-8). *
- 26) K. Sakoda and T. Ochiai, "Absence of Diffraction for Certain Eigenmodes in Photonic Crystal Slabs," 2nd IEEE Conference on Nanotechnology, (Arlington, USA, 2002-8). *
- 27) K. Sakoda and J. W. Haus, "Fractional decay of population inversion and spectral shift of superfluorescence in photonic crystals," International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, (Los Angeles, USA, 2002-10). *

[3] 国内発表(*招待講演)

(a) 学会

- 1) 島田良子ほか4名, 「誘電体微小球による3次元光結晶の作成」, 日本物理学会第53回年会, 東邦大学, 1998. 3.

- 2) 宮寄博司, 大高一雄, 「2次元周期配列誘電体球による近接場像 I. 共鳴近接場像の解釈」, 日本物理学会第53回年会, 東邦大学, 1998. 3.
- 3) 宮寄博司, 大高一雄, 「2次元周期配列誘電体球による近接場像 I. 長波長近似の近接場像」, 日本物理学会第53回年会, 東邦大学), 1998. 3.
- 4) 大高一雄, 「フォトニック結晶でのレーザー発振の閾値」, 日本物理学会秋の分科会, 琉球大学, 1998. 9.
- 5) 山口修一, 大高一雄, 「フォトニック結晶に於けるレーザー発振とバンドの個性」, 日本物理学会第54回年会, 広島大学, 1999. 3.
- 6) 大高一雄, 植田毅, 迫田和彰, 「フォトニック結晶におけるレーザー発振 I. 光の透過率の発散と発振現象」, 日本物理学会第54回年会, 広島大学, 1999. 3.
- 7) 迫田和彰, 大高一雄, 植田毅, 「フォトニック結晶におけるレーザー発振 II. 結晶の個性と発振の効率」, 日本物理学会第54回年会, 広島大学, 1999. 3.
- 8) 迫田和彰, 大高一雄, 「フォトニック結晶を用いた2次元DFBレーザー」, 第46回応用物理学関係連合講演会, 東京理科大学, 1999. 3.
- 9) 迫田和彰ほか5名, 「金属ロッドフォトニック結晶のバンド構造と透過スペクトル」, 第46回応用物理学関係連合講演会, 東京理科大学, 1999. 3.
- 10) 迫田和彰, 「フォトニック結晶の光波解析」, 電子情報通信学会, 東京, 1999. 3. *
- 11) 矢野聡ほか5名, 「ミリ波領域に於ける光結晶量子井戸」, 日本物理学会秋の分科会, 岩手大学, 1999. 9.
- 12) 大高一雄, 「フォトニック結晶と近接場像」, 日本物理学会秋の分科会シンポジウム, 岩手大学, 1999. 9. *
- 13) 島田良子ほか6名, 「ラテックス単層膜の偏光透過スペクトルとフォトニックバンド構造」日本物理学会秋の分科会, 岩手大学, 1999. 9.
- 14) 大高一雄, 「高速荷電粒子によるフォトニック結晶からの発光」, 日本物理学会秋の分科会, 岩手大学, 1999. 9.
- 15) 植田毅, 大高一雄, 「振動するフォトニック結晶における光の増幅」, 日本物理学会秋の分科会, 岩手大学, 1999. 9.
- 16) 山口修一ほか3名, 「フォトニック結晶に於けるレーザー発振の閾値とバンド構造」, 日本物理学会秋の分科会, 岩手大学, 1999. 9.
- 17) 迫田和彰, 伊藤琢範, 「2次元フォトニック結晶の低閾値レーザー発振」, 応用物理学会, 神戸, 1999. 9.
- 18) 迫田和彰, 「フォトニック結晶中の直交位相振幅スキューニング」, 日本物理学会秋季分科会, 岩手大学, 1999. 9.
- 19) 長谷正司ほか6名, 「2次元準周期フォトニック結晶の作成と光透過率測定 I」, 日本物理学会春の分科会, 関西大学, 2000. 3.
- 20) 植田毅, 大高一雄, 「フォトニック結晶に於ける格子振動による光増幅」, 日本物理学会春の分科会, 関西大学, 2000. 3.
- 21) 山口修一, 大高一雄, 「高速荷電粒子によるフォトニック結晶からの発

- 光」, 日本物理学会春の分科会, 関西大学, 2000. 3.
- 22) 矢野聡ほか6名, 「光結晶量子井戸に於ける量子化された光バンド」, 日本物理学会第55回年会, 関西大学, 2000. 3.
 - 23) 迫田和彰, 「フォトニック結晶中の異常ラムシフト再考」, 日本物理学会春季分科会, 吹, 2000. 3.
 - 24) 宮井英次, 迫田和彰, 「2次元スラブ型フォトニック結晶における局在欠陥モード」, 日本物理学会春季分科会, 関西大学, 2000. 3.
 - 25) 落合哲行, 迫田和彰, 「スラブ型フォトニック結晶における leaky モードのバンド構造と透過率」, 日本物理学会春季分科会, 関西大学, 2000. 3.
 - 26) 伊藤琢範, 迫田和彰, 「FDTD法による3次元フォトニック結晶のバンド計算」, 日本物理学会春季分科会, 関西大学, 2000. 3.
 - 27) 迫田和彰, 「フォトニック結晶中の光学応答一群速度異常による増強効果」, 応用物理学会北海道支部講演会, 札幌, 2000. 6. *
 - 28) 植田毅, 大高一雄, 「フォトニック結晶の格子振動と光の相互作用と光増幅」, 日本物理学会第55回年会, 新潟大学, 2000. 9.
 - 29) 山口修一, 大高一雄, 「高速荷電粒子によるフォトニック結晶からの発光」, 日本物理学会第55回年会, 新潟大学, 2000. 9.
 - 30) 角裕光, 山口修一, 大高一雄, 「金属フォトニック結晶のフォトニックバンド I」, 日本物理学会第55回年会, 新潟大学, 2000. 9.
 - 31) 石垣秀雄, 山口修一, 大高一雄, 「金属フォトニック結晶のフォトニックバンド II」, 日本物理学会第55回年会, 新潟大学, 2000. 9.
 - 32) 伊藤琢範, 落合哲行, 迫田和彰, 「スラブ型フォトニック結晶の固有モードの対称性と寿命」, 日本物理学会秋季分科会, 新潟大学, 2000. 9.
 - 33) 迫田和彰, 「群速度異常による光学および量子光学過程の増強効果」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 名古屋工業大学, 2000. 10.
 - 34) 大高一雄, 「フォトニック結晶からの光子放出」, 電子情報通信学会年次大会, 名古屋工業大学, 2000. 10. *
 - 35) 迫田和彰, 伊藤琢範, 落合哲行, 「スラブ型フォトニック結晶のモードの寿命と透過率」, 日本光学会年次学術講演会, 北見大学, 2000. 10.
 - 36) 大高一雄ほか3名, 「漏れのあるモードとないモード I: 表面を入れたバンド構造の計算法」, 日本物理学会第56回年会, 中央大学, 2001. 3.
 - 37) 山口修一ほか3名, 「漏れのあるモードとないモード II: ATR法によるスペクトル」, 日本物理学会第56回年会, 中央大学, 2001. 3.
 - 38) 迫田和彰, 「フォトニック結晶中の光の超放射」, 日本物理学会春季分科会, 中央大学, 2001. 3.
 - 39) 迫田和彰, 落合哲行, 「フォトニック結晶の理論解析技術」, 第48回応用物理学関係連合講演会, 明治大学, 2001. 3. *
 - 40) 宮井英次, 迫田和彰, 「低屈折率基板上のフォトニック結晶の局在モードの Q 値とレーザー発振」, 日本物理学会春季分科会, 中央大学, 2001. 3.
 - 41) 大高一雄, 「フォトニック結晶研究のこれまでとこれから」, 第48回

- 応用物理学関係連合講演会, 明治大学, 2001. 3. *
- 42) 山口修一, 大高一雄, 「三角格子フォトリック結晶のスミス・パーセル放射スペクトルの特徴」, 日本物理学会 2001 秋季大会, 徳島文理大, 2001. 9.
 - 43) 榊原竜一ほか 13 名, 「高エネルギー電子線とフォトリック結晶との相互作用に関する実験 I」, 日本物理学会 2001 秋季大会, 徳島文理大, 2001. 9.
 - 44) 山口修一, 井上純一, 大高一雄, 「フォトリック結晶からのスミス・パーセル放射の微分断面積の計算」, 日本物理学会 2001 秋季大会, 徳島文理大, 2001. 9.
 - 45) 井上純一, 山口修一, 大高一雄, 「フォトリック結晶の加速器への応用」, 日本物理学会 2001 秋季大会, 徳島文理大, 2001. 9.
 - 46) 大高一雄, 植田毅, V. Lousse, J.P. Vigneron, 「光応答におけるフォトリック結晶と回折格子との比較」, 日本物理学会 2001 秋季大会, 徳島文理大, 2001. 9.
 - 47) 山口修一ほか 4 名, 「積層した急配列フォトリック結晶における光応答の実験結果と計算結果の比較」, 日本物理学会 2001 秋季大会, 徳島文理大, 2001. 9.
 - 48) 北野元ほか 5 名, 「フォトリッククリスタル中の光パルス伝播」, 日本物理学会 2001 秋季大会, 徳島文理大, 2001. 9.
 - 49) 武田三男他 5 名, 「擬三角格子における線欠陥モードの波数ベクトル依存性」, 日本物理学会秋季分科会, 徳島文理大学, 2001. 9.
 - 50) 迫田和彰, 「フォトリック結晶中の光の超放射 II」, 日本物理学会秋季分科会, 徳島文理大学, 2001. 9.
 - 51) 大高一雄, 「フォトリック結晶からのスミス・パーセル放射と自由電子レーザー」, 日本物理学会 2001 秋季大会, 徳島文理大, 2001. 9. *
 - 52) 迫田和彰, 落合哲行, 「スラブ型結晶のフォトリックバンド構造と Q 値」, 日本物理学会秋季分科会, 徳島文理大学, 2001. 9.
 - 53) 迫田和彰, 「群速度異常と量子光学」, 日本物理学会秋季分科会, 徳島文理大学, 2001. 9. *
 - 54) 北野元ほか 5 名, 「フォトリッククリスタル中の光パルス伝播 II」, 日本物理学会第 57 回年次大会, 立命館大, 2002. 3.
 - 55) 近藤孝志ほか 4 名, 「2 次元 Si₃N₄ 球アレイの透過特性」, 日本物理学会第 57 回年次大会, 立命館大, 2002. 3.
 - 56) 山本貴一ほか 13 名, 「高エネルギー電子線とフォトリック結晶との相互作用に関する実験 II」, 日本物理学会第 57 回年次大会, 立命館大, 2002. 3.
 - 57) 山口修一, 井上純一, 大高一雄, 「フォトリック結晶を用いたスミス・パーセル放射における電子ビームの最適速度の決定」, 日本物理学会第 57 回年次大会, 立命館大, 2002. 3.
 - 58) 迫田和彰, J W. Haus, 「フォトリック結晶中の光の超放射」, 日本物理学会春季分科会, 立命館大学, 2002. 3.

- 59) 迫田和彰, 「フォトニックの光波解析」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 宮崎大学, 2002. 9. *

(b) 研究会, シンポジウム

- 1) 大高一雄, 植田毅, 迫田和彰, 「フォトニック結晶の輻射場の制御に関する理論研究」, 特定領域B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第1回公開シンポジウム, 伊豆長岡, 1999. 2.
- 2) 井上久遠ほか4名, 「2次元フォトニック結晶における作用」, 特定領域B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第1回公開シンポジウム, 伊豆長岡, 1999. 2.
- 3) 大高一雄, 植田毅, 迫田和彰, 「フォトニック結晶の輻射場の制御に関する理論研究」, 特定領域B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第2回公開シンポジウム, 札幌, 1999. 7.
- 4) 迫田和彰, 大高一雄, 植田毅, 「2次元フォトニック結晶レーザーの発振閾値解析」, 特定領域B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第2回公開シンポジウム, 札幌, 1999. 7.
- 5) 迫田和彰, 「フォトニック結晶の新しいバンド計算法ーガラス中の金属微粒子フォトニック結晶への応用ー」, 平尾誘起構造プロジェクトシンポジウム, 京都, 1999. 9.
- 6) 大高一雄, 植田毅, 迫田和彰, 「フォトニック結晶の輻射場の制御に関する理論研究」, 特定領域B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第3回公開シンポジウム, 宮下, 2000. 1.
- 7) 落合哲行, 迫田和彰, 「スラブ型フォトニック結晶の準安定バンド」, 科学技術振興事業団・計算科学技術活用型特定研究開発推進事業・研究報告会, 東京, 2000. 3.
- 8) 宮井英次, 迫田和彰, 「スラブ型フォトニック結晶の局在電磁モード」, 科学技術振興事業団・計算科学技術活用型特定研究開発推進事業・研究報告会, 東京, 2000. 3.
- 9) 迫田和彰, 「フォトニック結晶による直交位相スキューニングの増強効果」, 第3回量子情報技術研究会, 平塚, 2000. 5.
- 10) 迫田和彰, 「フォトニック結晶による重力波検出の可能性」, 日本原子力研究所・黎明研究発表会, 東海村, 2000. 6.
- 11) 迫田和彰, 「フォトニック結晶の研究動向」, 理研フォーラム, 和光, 2000. 6. *
- 12) 角裕光, 山口修一, 大高一雄, 「金属フォトニック結晶の光学的性質 1. バンド構造と透過率の計算」, 特定領域B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第4回公開シンポジウム, 札幌, 2000. 7.
- 13) 石垣秀雄, 山口修一, 大高一雄, 「金属フォトニック結晶の光学的性質 2. バンド構造と透過率の計算」, 特定領域B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第4回公開シンポジウム, 札幌, 2000. 7.
- 14) 山口修一, 大高一雄, 「高速荷電粒子によるフォトニック結晶からの発光」, 特定領域B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第4回公

- 開シンポジウム，札幌，2000.7.
- 15) 伊藤琢磨，迫田和彰，「2次元フォトリック結晶の表面プラズモン」，特定領域B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第4回公開シンポジウム，札幌，2000.7.
 - 16) 大高一雄，「周期場中の光と物質の相互作用」，応用物理学会応用電子物性分科会研究例会，東京，2000.7.*
 - 17) 迫田和彰，「光のバンド構造による群速度異常のもたらすもの」，応用物理学会応用電子物性分科会研究例会，東京)，2000.7.*
 - 18) 伊藤琢範，迫田和彰，「2次元フォトリック結晶の表面プラズモンポラリトン」，第61回応用物理学会学術講演会，札幌，2000.9.
 - 19) 迫田和彰，「誘電率が周波数に依存する場合のフォトリックバンド計算」，フォトリック結晶研究会，筑波，2000.12.
 - 20) 大高一雄，「金属フォトリック結晶のバンド構造と近くを走る荷電粒子からの発光スペクトル」，フォトリック結晶研究会：ノンリソグラフィック技術を中心として，筑波，2000.12.
 - 21) 迫田和彰，「周期構造中の光の場の解析」，日本光学会第27回冬期講習会，東京，2001.1.*
 - 22) 宮井英次，迫田和彰，「低屈折率基板上のスラブ型フォトリック結晶における欠陥モードのQ値」，特定領域B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム，東京，2001.1.
 - 23) 迫田和彰，落合哲行，「スラブ型結晶のバンド構造，寿命，透過率」，特定領域B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム，東京，2001.1.
 - 24) 植田毅ほか3名，「エネルギースペクトルからの1次元2重周期フォトリック結晶の構造決定」，特定領域B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム，東京，2001.1.
 - 25) 大高一雄，山口修一，「球配列系の漏れ(leaky)モードと漏れないモード」，特定領域B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム，東京，2001.1.
 - 26) 大高一雄，山口修一，瀬川勇三郎，「フォトリック結晶からのスミス・パーセル放射：その特徴と実験」，特定領域B「フォトリック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム，東京，2001.1.
 - 27) 大高一雄ほか4名，「誘電体配列系の線形光応答はどこまで計算とあうか」，特定領域研究第5回公開シンポジウム，東京，2001.1.
 - 28) 大高一雄ほか6名，「時間領域THz分光法(THz-TDS)を用いたSi₃N₄球の二次三角配列の透過特性」，特定領域研究第5回公開シンポジウム，東京，2001.1.
 - 29) 迫田和彰ほか3名，「スラブ型結晶のバンド構造，寿命，透過率」，特定領域研究第5回公開シンポジウム，東京，2001.1.
 - 30) 迫田和彰，「フォトリック結晶の光波解析」，電磁界理論研究会，札幌，2001.6.*
 - 31) 迫田和彰，「フォトリック結晶中の光の超放射」，特定領域B「フォト

- ニック結晶の開発と輻射場の制御」第6回シンポジウム，富士見，2001.7.
- 32) 大高一雄，植田毅，迫田和彰，「フォトニック結晶の輻射場の制御に関する理論研究」，特定領域B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第6回シンポジウム，富士見，2001.7.
 - 33) 迫田和彰，「フォトニック結晶のバンド構造と光学特性」，3D マイクロ構造研究会，大阪，2001.8.*
 - 34) 迫田和彰，J. W. Haus，「フォトニック結晶中の光の超放射」，特定領域B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第7回シンポジウム，京都，2002.1.
 - 35) 大高一雄，植田毅，迫田和彰，「フォトニック結晶の輻射場の制御に関する理論研究」，特定領域B「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第7回シンポジウム，富士見，2002.1.

[4] 解説等

- 1) 迫田和彰，井上久遠，「フォトニック結晶の光波解析」，電子科学研究，6，3-9(1999).
- 2) K. Sakoda，“Optics of Photonic Crystals,” Opt. Rev., 16, 5, 381-392(1999).
- 3) 迫田和彰，笹田道秀，川俣純，井上久遠，「フォトニック結晶中の光学応答—群速度異常による増強効果—」，日本物理学会誌，54，11，893-896(1999).
- 4) 迫田和彰，井上久遠，「フォトニック結晶のレーザー動作」，応用物理学会，68，12，1372-1375(1999)
- 5) 迫田和彰，「フォトニックバンドと輻射場制御」，O plus E, 21, 12, 1533-1538(1999).
- 6) 大高一雄，「周期場中の光の特徴」，日本光学会第27回冬季講習会テキスト(2001.1).
- 7) 大高一雄，「周期場中の光と物質の相互作用」，日本光学会第27回冬季講習会テキスト(2001.1).
- 8) 迫田和彰，伊藤琢範，落合哲行，「スラブ型フォトニック結晶の光学特性」，電子科学研究，8，50-51(2001).
- 9) 迫田和彰，「国内でも進む多彩な研究」，日経サイエンス，32，3，65(2002).

[5] 単行本(単著，共著の別)

- 1) K. Sakoda，“Photonic crystals” in “*optical Properties of Low-Dimensional materials*,” ed. T. Ogawa and Y. Kanemitsu (World Scientific, Singapore, 1998). 402-450, (共著).
- 2) 迫田和彰，「フォトニッククリスタル」，「速解 光サイエンス辞典」(オプトロニクス社，1998)，(共著).
- 3) K. Sakoda，“Optical Properties of Photonic Crystals,” (Springer Verlag, Berlin,

2001) (単著).

- 4) 瀬川勇三郎, 大高一雄, 「フォトニック結晶からの Smith-Purcell 放射」, フォトニック結晶技術とその応用 (シーエムシー出版 2002), (共著).
- 5) 大高一雄, 「超高速光技術ハンドブック」, (サイペック K.K, 2002), (共著).

[6] その他

6-1 受賞

大高一雄, 日本物理学会 2000 年, 2001. 3. 29.

6-2 各班間の連携と共同研究の成果

- 1) 瀬川グループと連携をとりスラブ形フォトニック結晶の状態密度の公式およびフォトニックバンドの寿命の実験と理論の一致を確認した
- 2) 瀬川グループとの連携で量子井戸形フォトニック結晶の物性の理論と実験の一致を確認した。
- 3) スミス・パーセル放射の理論を瀬川グループの実験につなげた。

6-3 関連した国際学会, シンポジウムの組織委員, プログラム委員

- 1) 大高一雄, PECS 国際会議組織委員 (2000).
- 2) 迫田和彰, The 4th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics, プログラム委員.

A-2 ア班

[1] 原著論文

- 1) M. Imada, T. Ishibashi, and S. Noda, "Characterization of InP Air/Semiconductor Gratings Formed by Mass-Transport Assisted Wafer Fusion Technique and its Application to DFB Laser," Jpn. J. Appl. Phys, **37**, 1400-1404 (1998).
- 2) A. Chutinan and S. Noda, "Spiral three-dimensional photonic-band-gap structure," Phys. Rev. B **57**, 2006R-2008R (1998).
- 3) N. Yamamoto, S. Noda, and A. Chutinan, "Development of One Period of a Three-Dimensional Photonic Crystal in the 5-10mm Wavelength Region by Wafer Fusion and Laser Beam Diffraction Pattern Observation Techniques," Jpn. J. Appl. Phys, **37**, L1052-L1054 (1998).
- 4) N. Yamamoto and S. Noda, "100 nm-Scale Alignment using Laser Beam Diffraction Pattern Observation Techniques and Wafer Fusion for Realizing Three-Dimensional Photonic Crystal Structure," Jpn. J. Appl. Phys, **37**, 3334-3338 (1998).
- 5) N. Yamamoto and S. Noda, "Fabrication and Optical Properties of One Period of a Three-Dimensional Photonic Crystal Operating in the 5-10 mm Wavelength Region," Jpn. J. Appl. Phys, **38**, 1282-1285 (1999).
- 6) A. Chutinan and S. Noda, "Effects of structural fluctuations on the photonic

- bandgap during fabrication of a photonic crystal,” *J. Opt. Soc. Am. B*, **16**, 240-244 (1999).
- 7) S. Noda, N. Yamamoto, H. Kobayashi, M. Okano, and K. Tomoda, “Optical Properties of three-dimensional photonic crystals based on III-V semiconductors at infrared to near-infrared wavelengths,” *Appl. Phys. Lett*, **75**, 905-907, (1999).
 - 8) M. Imada, S. Noda, H. Kobayashi, and G. Sasaki, “Characterization of Distributed Feedback Laser with Air/Semiconductor Gratings Embedded by Wafer Fusion Technique,” *IEEE J. Quantum Electron*, **35**, 1277-1283, (1999).
 - 9) M. Imada, S. Noda, A. Chutinan, M. Murata, and G. Sasaki, “Semiconductor Lasers with One- and Two-Dimensional Air/Semiconductor Gratings Embedded by Wafer Fusion Technique,” *IEEE Selected Topics in Quantum Electron*, **5**, 658-663 (1999).
 - 10) M. Imada, S. Noda, A. Chutinan, T. Tokuda, M. Murata, and G. Sasaki, “Coherent Two-Dimensional Lasing Action in Surface-Emitting Laser with Triangular-Lattice Photonic Crystal Structure,” *Appl. Phys. Lett*, **75**, 316-318 (1999).
 - 11) A. Chutinan and S. Noda, “Effects of structural fluctuations on the photonic bandgap during fabrication of a photonic crystal: A study on the photonic crystal with finite period,” *J. Opt. Soc. Am. B*, **16**, 1398-1402 (1999).
 - 12) A. Chutinan and S. Noda, “Highly confined waveguide and waveguide bends in three-dimensional photonic crystal,” *Appl. Phys. Lett*, **75**, 3739-3741 (1999).
 - 13) S. Noda, N. Yamamoto, M. Imada, H. Kobayashi, and M. Okano, “Alignment and Stacking of Semiconductor Photonic Bandgaps by Wafer-Fusion,” *IEEE J. Lightwave Technol*, **17**, 1948-1955 (1999).
 - 14) S. Noda, “Three-Dimensional Photonic Crystals Operating at Optical Wavelength Region,” *Physica B*, (1999), (Invited Paper).
 - 15) S. Noda, A. Chutinan, and M. Imada, “Trapping and Emission of Photons by a Single Defect in a Photonic Bandgap Structure,” *Nature*, **407**, 608-610 (2000).
 - 16) S. Noda, K. Tomoda, N. Yamamoto, and A. Chutinan, “Full Three-Dimensional Photonic Bandgap Crystals at Near-Infrared Wavelengths,” *Science*, **289**, 604-606 (2000).
 - 17) A. Chutinan and S. Noda, “Design of Waveguides in Three-Dimensional Photonic Crystals,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39**, 2353-2356 (2000).
 - 18) A. Chutinan and S. Noda, “Analysis of Waveguides and Waveguide Bends in Photonic Crystal Slabs with Triangular Lattice,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39**, L595-L596 (2000)
 - 19) A. Chutinan and S. Noda, “Waveguides and Waveguide Bends in Two-Dimensional Photonic Crystal Slabs,” *Phys. Rev. B*, **62**, 4488-4492 (2000).
 - 20) T. Tokuda and S. Noda, “Wafer Fusion Technique Applied to GaN/GaN System,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, **39**, L572-L574 (2000).
 - 21) S. Noda, M. Yokoyama, M. Imada, A. Chutinan, M. Mochizuki, “Polarization Mode Control of Two-Dimensional Photonic Crystal Laser by Unit Cell Structure Design,” *Science*, (2001).
 - 22) S. Noda, M. Imada, A. Chutinan, and N. Yamamoto, “Semiconductor photonic crystals,” (ed. M. Soukoulis), (Kluwer Academic 2001, 105-116).

- 23) A. Chutinan, M. Mochizuki, M. Imada and S. Noda, "Surface-emitting channel drop filters using single defects in two-dimensional photonic crystal slabs," *Appl. Phys Lett* **79**, 17 (2001).
- 24) S. Noda, "3D and 2D Photonic Crystals in III-V Semiconductors," *MRS Bulletin*, **26**, 618-621 (2001), (Invited paper).
- 25) M. Yokoyama, K. Akimoto, M. Imada and S. Noda, "Wafer Fusion Condition for GaAs/AlGaAs System and Its Application to Laser Diode," *Jpn. J. Appl. Phys.* **40**, L847-L849 (2001).
- 26) N. Yamamoto, K. Tomoda and S. Noda, "Fabrication of Three-Dimensional Photonic Crystal by Wafer Fusion Approach," *Proceedings of 2001 MRS Spring Meetings*, 681E, I6.4 (2001),
- 27) T. Tanaka, S. Noda, A. Chutinan, T. Asano, and N. Yamamoto, "Ultra-short Pulse propagation in 3D GaAs Photonic Crystal," *J. Optical Quantum Electronic*, **34**, 37-43 (2002).
- 28) S. Ogawa, K. Tomoda, and S. Noda, "Effects of Structural Fluctuations on Three Dimensional Photonic Crystal Operating at Near-Infrared Wavelengths," *J Appl Phys*, **91**, 1, 513-515 (2002).
- 29) S. Noda and M. Imada, "2D Photonic Crystal Surface-Emitting Laser Using Triangular-Lattice Structure," *IEICE Transactions C E85-C*, **1**, 45-51 (2002) (Invited).
- 30) M. Imada, A. Chutinan, S. Noda, and M. Mochizuki, "Multi-directionally distributed feedback photonic crystal lasers," *Phys. Rev. B*, **65**, 19, 195306-1-8 (2002).
- 31) A. Chutinan, M. Okano, and S. Noda, "Wider Bandwidth with High Transmission Through Waveguide Bends in Two-Dimensional Photonic Crystal Slabs," *Appl. Phys. Lett*, **80**, 1698-1700 (2002).
- 32) M. Imada, A. Chutinan, M. Mochizuki, T. Tanaka, and S. Noda, "Channel Drop Filter by a Single Defect in a 2D Photonic Crystal Slab Waveguide," *IEEE/OSA J. Lightwave Technology*, **20**, 873-878 (2002).
- 33) S. Noda, M. Imada, M. Okano, S. Ogawa, M. Mochizuki, and A. Chutinan, "Semiconductor 3D and 2D Photonic Crystals and Devices," *IEEE J.Quant. Electron.* **38**, 726-735 (2002).
- 34) S. Noda, "III-V semiconductor-based photonic crystals," *J. Opt Quant Electron*, **34**, 723-736 (2002).
- 35) M. Okano, A. Chutinan, and S. Noda, "Design of Single Defect Cavity in 3D Photonic Crystal," *Physical Review B*, **66**, 165211 1-6 (2002).
- 36) E. Miyai, M. Okano, M. Mochizuki, and S. Noda, "Analysis on coupling between 2D photonic crystal slab and external waveguide," *Appl. Phys. Lett.*, (2002).

[2] 国際学会(*招待講演)

- 1) M. Imada and S. Noda, "Distributed Feedback Laser with Air/Semiconductor Gratings Embedded by Mass-Transport Assisted Wafer-Fusion Technique," *The 15th Semiconductor Laser Symposium (International)*, (Tokyo Institute of Technology, 1998-3).
- 2) N. Yamamoto and S. Noda, "Development of a Period of Three-Dimensional

- Photonic Crystal Operating at Optical Wavelength Region,” Conference Proceedings of 1998 Tenth International Conference on Indium Phosphide and Related Materials, 809-812, (1998-3).
- 3) S. Noda, M. Imada, H. Kobayashi, and G. Sasaki, “Continuous Wave Oscillation of MQW DFB Laser with Air/Semiconductor Gratings Embedded by Mass-Transport Assisted Wafer Fusion Technique,” Conference on Lasers and Electro-optics (CLEO'98), Anaheim, USA, (1998) 219-220.
 - 4) M. Imada, S. Noda, A. Chutinan, and Y. Ikenaga, “Light-Emitting Devices with One- and Two-Dimensional Air/Semiconductor Gratings Embedded by Wafer Fusion Technique,” Conference Digest of 1998 IEEE 16th International Semiconductor Laser Conference (ISLC'98) (1998) 211-212.
 - 5) S. Noda, “Alignment and Stacking of Semiconductor Photonic Band Gaps by Wafer-Fusion (Invited),” Abstracts of Workshop on Electromagnetic Crystal Structures, Design, Synthesis, and Applications, 30 (Laguna Beach, USA, 6-8.30, (1999-1). *
 - 6) S. Noda and N. Yamamoto, “Semiconductor three-dimensional photonic crystals operating at infrared wavelength region,” OSA Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO'99), (Baltimore, USA, 1999-5) JFB6.
 - 7) M. Imada, S. Noda, A. Chutinan, T. Tokuda, M. Murata, and G. Sasaki, “Surface-emitting laser with two-dimensional photonic band structure embedded by wafer fusion technique,” OSA Technical Digest Series of Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO'99), (Baltimore, USA, 1999-5) CTh02.
 - 8) S. Noda, “3D Photonic Crystal,” IEEE/LEOS Semiconductor Laser Workshop, Novel Materials and Structures, (Baltimore, USA, 1999-5). *
 - 9) S. Noda, N. Yamamoto, M. Imada, H. Kobayashi, and K. Tomoda, “Three-Dimensional Photonic Crystal Operating at Optical Wavelength Region,” The 5th Int. Conf. Electrical Transport and Optical Properties of Inhomogeneous Media, (Hong Kong, June, 1999-1). *
 - 10) S. Noda, “Three Dimensional Photonic Crystals and Their Applications,” The Pacific Rim Conference on Lasers and Electro Optics (CLEO/PR'99), (Seoul, Korea, 1999-8, -9). *
 - 11) A. Chutinan and S. Noda, “Highly Confined Three-Dimensional Photonic Crystal Waveguide with Sharp Bend,” International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM'99), (Tokyo, Japan, 1999-9), D-8-3.
 - 12) S. Noda, K. Tomoda, N. Yamamoto, M. Imada, and A. Chutinan, “Three-Dimensional Photonic Crystals based on III-V Semiconductor at 1-2μm Wave lengths,” 12th Annual Meeting IEEE Lasers and Electro-Optics Society, (San Francisco, USA, 1999-11) WL3.
 - 13) A. Chutinan and S. Noda, “Highly-confined Waveguides in Three-Dimensional Photonic Crystal,” 12th Annual Meeting IEEE Lasers and Electro-Optics Society, paper (San Francisco, USA, 1999-11) WL3.
 - 14) T. Tanaka, A. Chutinan, T. Asano, N. Yamamoto, and S. Noda, “Ultra-short pulse propagation in 3-D Photonic Band Gap Structure,” IEEE Conference on Terahertz Electronics (Nara, Japan, 1999-11).
 - 15) S. Noda, “Progress in 3D Photonic Crystals,” The 3rd Sweden-Japan

- International Workshop on Quantum Nanoelectronics, (1999-12). *
- 16) S. Noda, N. Yamamoto, K. Tomoda, M. Imada, and A. Chutinan, "Semiconductor Photonic Crystals (invited)," International Topical Workshop on Contemporary Photonic Technology (CPT'2000) (Tokyo, Japan, 2000-1). *
 - 17) S. Noda, "Current Status of III-V Based 3D Photonic Crystals," Int. Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structure (PECS'00) (Sendai, Japan, 2000-3). *
 - 18) M. Imada, S. Noda, A. Chutinan, M. Mochizuki, M. Okano, M. Murata, and G. Sasaki, "Lasing Characteristics of Surface-Emitting Laser with 2D Photonic Crystals Embedded by Wafer Fusion Technique," Int. Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structure (PECS'00) (Sendai, Japan, 2000-3).
 - 19) A. Chutinan and S. Noda, "Waveguides in Two-Dimensional Photonic Crystal Slabs," Int. Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structure (PECS'00) (Sendai, Japan, 2000-3).
 - 20) N. Yamamoto, S. Noda, and A. Chutinan, "Three-Dimensional Photonic Crystal Waveguide with Sharp Bend," Int. Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structure (PECS'00) (Sendai, Japan, 2000-3).
 - 21) T. Tanaka, S. Noda, A. Chutinan, T. Asano, and N. Yamamoto, "Ultra-short Pulse propagation in 3D GaAs Photonic Crystal," Int. Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structure (PECS'00) (Sendai, Japan, 2000-3).
 - 22) K. Tomoda, S. Ogawa, M. Okano, and S. Noda, "Optical Properties of 3D Photonic Crystals Operating at Near-Infrared Wavelengths," Int. Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structure (PECS'00) (Sendai, Japan, 2000-3).
 - 23) S. Noda, "Three Dimensional Photonic Crystals Operating at Optical Wavelength," The March 2000 Meeting of the American Physical Society, (Minneapolis, USA, 2000-3). *
 - 24) S. Noda, "Semiconductor Photonic Crystals," NATO Advanced Study Institute "PHOTONIC CRYSTALS AND LIGHT LOCALIZATION" (Mykonos, Greece, 2000-6). *
 - 25) S. Noda, M. Imada, and A. Chutinan, "3D and 2D Semiconductor Photonic Crystals and Devices," OSA Topical Meeting on Diffractive Optics and Microoptics (125DOMO'00) (Quebec, Canada, 2000-6). *
 - 26) S. Noda, "Semiconductor 3D Photonic Crystal," The Fifth Optoelectronics and Communications Conference (OECC2000) (Makuhari, Japan, 2000-7). *
 - 27) S. Noda, "III-V Semiconductor Photonic Crystals," OSA's Integrated Photonics Research Topical Meeting (IPR 2000) (Quebec, Canada, 2000-7). *
 - 28) T. Tanaka, S. Noda, A. Chutinan, T. Asano, and N. Yamamoto, "Ultra-short Pulse Propagation in 3D GaAs Photonic Crystal," Technical Digests of the International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, (Sendai, Japan, 2000-3), W4-14. *
 - 29) S. Noda, "Semiconductor Based Photonic Crystals," 3rd International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Materials (Hawaii, USA, 2000-11). *
 - 30) S. Noda, "Photonic Crystal Fabrication by a Wafer Bonding Approach," Spring Meet. Mat. Res. Sys (San Francisco, USA, 2001-4).

- 31) S. Noda, "Semiconductor Photonic Crystals," 5th RIKEN International Conference: Coherent Control in Matter (Hayama, Japan, 2001-4). *
- 32) S. Noda, "Semiconductor 2D and 3D Photonic Crystals," OSA Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS'01) (Baltimore, USA, 2001-5). *
- 33) S. Noda, "III-V Semiconductor Photonic Crystals," Int. Topical Meet. Indium Phosphide and Related Mat (Nara, JAPAN, 2001-5). *
- 34) S. Noda, "Functional 2D And 3D Photonic Crystal Structures," Euro-conference on Electromagnetic Crystal Structures (St. Andrews, 2001-6). *
- 35) S. Noda, "3D and 2D Semiconductor Photonic Crystals," 4th QNANO Workshop (Stockholm, Sweden, 2001-6). *
- 36) T. Tanaka, M. Imada, A. Chutinan, M. Mochizuki, and S. Noda, "Optical Properties of a Single Defect in a 2D Photonic Crystal Slab for Possible Application to Ultrasmall Channel Drop Filters," OSA Top. Meet. Integrated Photon. Research (Monterey, USA, 2001-6).
- 37) S. Noda, "Present Status and Future Prospect of Semiconductor Photonic Crystals," Femtosecond Technology Workshop (FST'01) (Tsukuba, Japan, 2001-6). *
- 38) S. Noda, "Semiconductor 3D and 2D Photonic Bandgap Structure," The 4th Pacific Rim Conf. on Laser and Electro-Optics (Makuhari, Japan, 2001-7). *
- 39) M. Okano, A. Chutinan, and S. Noda, "Analysis of single-defect cavities in 3D photonic crystal," The 4th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/PR2001) (Makuhari, Japan, 2001-7).
- 40) M. Yokoyama, M. Imada A. Chutinan and S. Noda, "Fabrication of surface-emitting laser with two-dimensional square-lattice photonic crystal," The 4th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/PR2001) (Makuhari, Japan, 2001-7).
- 41) M. Imada, A. Chutinan, M. Mochizuki, T. Tanaka, and S. Noda, "Theoretical analysis of trapping and emission of photons by a single defect in a 2D photonic crystal slab," The 4th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/PR2001) (Makuhari, Japan, 2001-7).
- 42) S. Noda, "Photonic Crystals and Devices," Asia-Pacific Radio Science Conf (Tokyo, Japan, 2001-8). *
- 43) S. Noda, "Photonic Bandgap Crystals and Devices," Alaska Meeting on Fundamental Optical Processes in Semiconductors (AMFOPS'01) (Alaska, USA, 2001-8). *
- 44) S. Noda, "Semiconductor Photonic Crystals and Devices," 27th European Conference on Optical Communication (ECOC'01) (Amsterdam, Netherlands, 2001-9, -10). *
- 45) S. Noda, "Semiconductor Photonic Crystals," Seminar van der Waals-Zeeman Colloquium (Amsterdam, Netherlands, 2001-10). *
- 46) S. Noda, "Functional Photonic Crystal Devices: - Photonic Crystal Laser and Channel Drop Defect Filter -," Fall Meet. Mat. Res. Sys, (Boston, USA, 2001-11). *
- 47) M. Imada and S. Noda, "Semiconductor photonic crystals for lasers and

- functional devices,” The 14th annual meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society (LEOS2001) (San Diego, USA, 2001-11). *
- 48) N. Yamamoto, S. Ogawa, M. Imada and S. Noda, “Photonic Crystal Preparation by A Wafer Bonding Approach,” Optoelectronics and Microelectronics (Nanjing China, 2001-11). *
 - 49) S. Noda and M. Imada: “Semiconductor Photonic Crystals and Functional Devices,” SPIE Photonics WEST (San Jose, California USA, 2002-1). *
 - 50) M. Yokoyama, M. Imada, and S. Noda, “Two Dimensional Photonic Crystal Lasers,” SPIE Photonics WEST (San Jose, California USA, 2002-1).
 - 51) S. Noda, “Semiconductor Photonic Crystals and Devices”, InP and Related Material Conference, (Stockholm, Sweden, 2002-5). *
 - 52) S. Noda and M. Imada, “Semiconductor photonic crystals,” 201st meeting of the Electrochemical Society, (Philadelphia USA, 2002-5). *
 - 53) S. Noda, “Photonic Crystals: Novel Nanostructures for Light”, JSPS Science in Japan Forum – Nanoscale Science and Technology-, (Washington, USA, 2002-6). *
 - 54) S.Noda: “Present Status and Future Prospects of Photonic Crystals”, Optoelectronics Communication Conference (OECC), (Yokohama, Japan, 2002-7). *(Tutorial)
 - 55) S.Noda: “Semiconductor Photonic Crystals and Devices -Part I”, The 3rd International Wilhelm and Else Heraeus Summer school entitled ‘Photonic Crystals: Optical materials for the 21st century’, (Wittenberg, Germany, 2002-7). *(Tutorial)
 - 56) S.Noda: “Semiconductor Photonic Crystals and Devices -Part II”, The 3rd International Wilhelm and Else Heraeus Summer school entitled ‘Photonic Crystals: Optical materials for the 21st century’, (Wittenberg, Germany, 2002-7). *(Tutorial)
 - 57) S. Noda and M. Imada, “Optical functional devices based on photonic crystals: laser and add-drop devices,” SPIE Itcom 2002, (Boston, USA, 2002-7~8). *
 - 58) M.Yokoyama and S.Noda, “Two Dimensional Photonic Crystal Lasers”, Photonic Crystal Down Under, (Australia, 2002-8). *
 - 59) M. Imada and S. Noda, “Recent progress of semiconductor photonic crystals,” The Second IEEE Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO2002), (Washington DC, USA, 2002-8). *
 - 60) T. Asano and S. Noda: “Surface-emitting type channel add/drop filtering devices based on 2D photonic crystal slab”, Workshop and European Optical Society topical meeting on Two Dimensional Photonic Crystals, (Ascona, Switzerland, 2002-8). *
 - 61) S. Noda: “Photonic Crystals and Their Applications”, International Conference on Solid State Devices and Materials, (Nagoya, Japan, 2002-9). *
 - 62) A. Chutinan and S. Noda, “Recent progress of semiconductor photonic crystals”, Asia-Pacific Optical and Wireless Communications (APOC2002), (Shanghai, China, 2002-10). *
 - 63) S.Noda: “2D and 3D Semiconductor Photonic Crystals and Devices”, International Workshop on Photonics and Electromagnetic Crystal Structure (PECS-IV), (Los Angeles, USA, 2002-10). *

- 64) S.Noda: "Photonic Crystal Lasers and Related Functional Devices", IEEE LEOS Annual Meeting, (Glasgow, UK, 2002-11). *
- 65) S.Noda: "Photonic Crystals -from Fundamentals to Applications-", Nano-Tech 2003, Future, (Makuhari, Japan, 2003-2). *

[3] 国内発表(*招待講演)

(a) 学会

- 1) N. Yamamoto and S. Noda, "Transmission Spectra of One Cycle Three-Dimensional Photonic Crystal in Optical Wavelength Region," 17th Record of Electronic Materials Symposium, Izu-Nagaoka, 111-112, (1998).
- 2) 野田進, 「光波長域における半導体 3 次元フォトンクス結晶の開発の現状」1998 年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会, SC-5-11, 1998.9.*
- 3) 田中 智子, チュティナン・アロンカーン, 山本 宗継, 浅野 卓, 野田 進, 「3 次元フォニック結晶中の超短パルスの伝搬」, 第 60 回応用物理学学会学術講演会, 3pL-12, 甲南大学, 神戸市, 1999.9.
- 4) K. Tomoda, H. Kobayashi, N. Yamamoto, and S. Noda, "Three-Dimensional Photonic Crystals Operating at Near-Infrared Wavelengths," The 18th Electronic Materials Symposium, B2 1999.6.
- 5) 今田昌宏, 小林英了, 山本宗継, 野田進 「InP の室温ウエハ接合における RIE 条件の影響の検討」平成 11 年第 46 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZC-11, 1999.3.
- 6) 今田昌宏, 野田進, チュチナン・アロンカーン, 村田道夫, 佐々木吾朗, 「ウエハ融着法による 2 次元フォニック結晶内蔵型面発光レーザ」平成 11 年第 46 回応用物理学関係連合講演会 29-E-8, 1999.3.
- 7) 山本宗継, 岡野誠, 野田進, 「ウエハ融着による赤外域 3 次元フォニック結晶—8 層積層構造の光学特性—」平成 11 年第 46 回応用物理学関係連合講演会, 29p-E-9, 1999.3.
- 8) 小林英了, 山本宗継, 友田勝寛, 岡野誠, 野田進, 「近赤外域 3 次元フォニック結晶の作製とその光学特性」平成 11 年第 46 回応用物理学関係連合講演会, 29p-E-10, 1999.3.
- 9) チュチナン・アロンカーン, 野田進, 「FDTD 法による 3 次元フォニック結晶導波路の解析」平成 11 年第 46 回応用物理学関係連合講演会, 29-E-11, 1999.3.
- 10) 迫田和彩, 河合紀子, チュチナン・アロンカーン, 野田進, 平尾一之. 「金属ロッドフォニック結晶のバンド構造と透過スペクトル」平成 11 年第 46 回応用物理学関係連合講演会, 29-E-11, 1999.3.
- 11) 野田進, 山本宗継, 「光波長域フォトンクス結晶開発の現状」レーザ学会学術講演会第 19 回年次大会, 1999.1.*
- 12) 今田昌宏, 野田進, 岡野誠, チュチナン・アロンカーン, 村田道夫, 佐々木吾朗, 「ウエハ融着法による 2 次元フォニック結晶内蔵型面発光レーザ(II)」平成 11 年第 60 回応用物理学学会学術講演会, 3-L-4, 1999.9.
- 13) 友田勝寛, 山本宗継, 野田進, 「1~2 μ m 帯 3 次元フォニック結晶の作

- 製とその光学特性」平成 11 年秋季, 第 60 回応用物理学会学術講演会, 3-L-10.
- 14) チュチナン・アロンカーン, 野田進「FDTD 法による 3 次元フォトニック結晶導波路の解析(II)」平成 11 年第 60 回応用物理学会学術講演会, 3-L-11,1999.9.
 - 15) 田中智子, チュチナン・アロンカーン, 山本宗継, 浅野卓, 野田進, 「3 次元フォトニック結晶中の超短パルスの伝搬」平成 11 年第 60 回応用物理学会学術講演会, 3-L-12,1999.9.
 - 16) チュチナン・アロンカーン, 山本宗継, 野田進, 「無損失 3 次元フォトニック結晶導波路」1999 年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会, C-3-10, 1999.9.
 - 17) 田中智子, チュティナン・アロンカーン, 浅野卓, 山本宗継, 野田進, 「3D-GaAs フォトニック結晶中のパルス伝搬 II」, 第 47 回応用物理関係連合講演会, 28pP5-5, 青山学院大学, 東京,E81, 2000.3.
 - 18) 山本宗継, 野田進, 「3 次元フォトニック結晶のバンド構造と透過スペクトル特性の比較」第 61 回応用物理学会学術講演会, 5a-Q-8, 北海道工業大学, 札幌市,2000.9.
 - 19) チュティナン・アロンカーン, 野田進, 望月理光, 「2 次元フォトニック結晶の欠陥を用いた面出力型波長分波器の理論解析」, 第 61 回応用物理学会学術講演会, 5p-Q-7, 北海道工業大学, 札幌市, 2000.9.
 - 20) 小川新平, 友田勝寛, チュティナン・アロンカーン, 野田進「1~2 μm 帯 3 次元フォトニック結晶内における発光体の PL 特性」, 第 61 回応用物理学会学術講演会, 5p-Q-16, 北海道工業大学, 札幌市, 2000.9.
 - 21) 野田進, 「フォトニック結晶の現状と将来展望」, 日本光学会オプティクスジャパン, 北見工業大学, 2000.10.*
 - 22) 野田進, 「究極の光制御材料: フォトニック結晶」, 茅コンファレンス, 裏磐梯, 2000.11.*
 - 23) 野田進, 今田昌宏, 「フォトニック結晶の最近の進展」, レーザ学会年次大会, 東京, 2001.1.*
 - 24) 野田進, 「2 次元 vs 3 次元フォトニック結晶: それぞれの狙いは/どこまで来たか」, 第 48 回応用物理関係連合講演会, 28p-A-3, 明治大学駿河台キャンパス, 東京, 2001.3.*
 - 25) 横山光, 今田昌宏, 野田進, 「2 次元正方格子フォトニック結晶面発光レーザーの作製」, 第 42 回春季応用物理学関連連合講演会, 29a-ZH-10, 明治大学駿河台キャンパス, 東京, 2001.3.
 - 26) チュティナン・アロンカーン, 岡野誠, 野田進, 「2 次元フォトニック結晶: スラブにおける導波路の解析(II)」, 第 48 回応用物理関係連合講演会, 30a-YK-9, 明治大学駿河台キャンパス, 東京, 2001.3.
 - 27) 田中智子, 今田昌宏, 平井祐磨, 望月理光, チュティナン・アロンカーン, 野田進, 「2 次元フォトニック結晶の単一欠陥を用いた面出力型波長分波器の光学特性」, 第 48 回応用物理関係連合講演会, 30a-YK-10, 明治大学駿河台キャンパス, 東京都, 2001.3.

- 28) 秋元克弥, 横山光, 今田昌宏, 野田進, 「InGaP/InGaP ウエハ融着条件の検討-2次元フォトニック結晶レーザの短波長化に向けて」, 第48回応用物理関係連合講演会, 31a-ZX-9, 明治大学駿河台キャンパス, 東京都, 2001.3.
- 29) M. Okano, A. Chutinan, and S. Noda, “Design of single-defect cavities in 3D photonic crystal,” M. Okano, 20th Electronic Materials Symposium, Nara, (2001-6).
- 30) 望月理光, 田中智子, 岡野誠, 野田進, 「2次元フォトニック結晶スラブにおける単一欠陥を用いた面入力型波長合波器の理論解析(III)-欠陥エンジニアリングによる偏光及び分波波長の制御」, 第62回応用物理学会学術講演会, 13p-ZK-9, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
- 31) 望月理光, 岡野誠, 野田進, 「2次元フォトニック結晶スラブにおける単一欠陥を用いた面入力型波長合波器の理論解析(IV)-欠陥エンジニアリングによる上下出力割合の制御」, 第62回応用物理学会学術講演会, 13p-ZK-10, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
- 32) 望月理光, 田中智子, 岡野誠, 野田進, 「2次元フォトニック結晶スラブにおける単一欠陥を用いた面出力型波長分波器の理論解析(III)-欠陥エンジニアリングによる偏光および分波波長の制御」, 第62回応用物理学会学術講演会, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
- 33) 望月理光, 岡野誠, 野田進, 「2次元フォトニック結晶スラブにおける単一欠陥を用いた面出力型波長分波器の理論解析(IV)-欠陥エンジニアリングによる上下出力割合の制御」, 第62回応用物理学会学術講演会, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
- 34) 浅野卓, 田中智子, 望月理光, 今田昌宏, 清田和明, 田中良典, 赤羽良啓, 宋奉植, 野田進, 「2次元フォトニック結晶スラブの単一欠陥を用いた面入力型波長合波器」, 第62回応用物理学会学術講演会, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
- 35) 浅野卓, 野田進, 「フォトニック結晶の欠陥における光波干渉を利用したデバイス」, 62回応用物理学会学術講演会, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
- 36) 小川新平, 今田昌宏, 清田和明, 岡野誠, 野田進, 「3次元フォトニック結晶への発光体の導入(I)-超薄膜発光層の導入と光学特性-」, 第62回応用物理学会学術講演会, 14p-ZK-2, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
- 37) 横山光, 今田昌宏, 野田進, 「2次元フォトニック結晶面発光レーザの偏光制御(I)」, 第62回応用物理学会学術講演会, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
- 38) 横山光, 今田昌宏, 野田進, 「2次元フォトニック結晶面発光レーザの偏光制御(II)」, 第62回応用物理学会学術講演会, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
- 39) 横山光, 今田昌宏, 野田進, 「偏光制御された2次元正方格子フォトニック結晶面発光レーザの作製」, 第62回応用物理学会学術講演会, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
- 40) 小川新平, 今田昌宏, 清田和明, 岡野誠, 野田進, 「3次元フォトニック

- 結晶への発光体の導入(I)―超薄膜発光層の導入と光学特性―」, 第 62 回応用物理学学会学術講演会, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
- 41) 今田昌宏, 小川新平, 野田進, 「3次元フォトニック結晶への発光体の導入(II)―ストライプ型発光層の導入―」, 第 62 回応用物理学学会学術講演会, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
 - 42) 山本宗継, 野田進, 「3次元フォトニック結晶導波路 ―積層誤差と伝播特性―」, 第 62 回応用物理学回学術講演回, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
 - 43) 横山光, 今田昌宏, 野田進, 「2次元フォトニック結晶面発光レーザの偏光制御 (I)」, 第 62 回秋季応用物理学学会学術講演会, 14a-ZK-5, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
 - 44) 横山光, 今田昌宏, 野田進, 「2次元フォトニック結晶面発光レーザの偏光制御 (II)」, 第 62 回秋季応用物理学学会学術講演会, 14a-ZK-6, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
 - 45) 横山光, 今田昌宏, 野田進, 「偏光制御された2次元正方格子フォトニック結晶面発光レーザの作製」, 第 62 回秋季応用物理学学会学術講演会, 14a-ZK-7, 愛知工業大学, 豊田, 2001.9.
 - 46) 野田進, 「フォトニック結晶における光設計―欠陥およびバンドエッジエンジニアリング―」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.*
 - 47) 小川新平, 今田昌宏, 李来和, 吉本晋, 岡野誠, 野田進, 「3次元フォトニック結晶による自然放出制御―無欠陥発光体の導入と PL 特性―」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.
 - 48) 今田昌宏, 小川新平, 吉本晋, 李来和, 岡野誠, 鴻池一暁, 野田進, 「3次元フォトニック結晶による自然放出制御―点欠陥をもつ発光体の導入と PL 特性―」第 49 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.
 - 49) 岡野誠, 加古伸一, 野田進, 「3次元フォトニック結晶における点欠陥共振器と線欠陥導波路の結合」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.
 - 50) 横山光, 平野兼史, 松本卓也, 今田昌宏, 野田進, 「2次元フォトニック結晶面発光レーザの偏光制御(IV)」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.
 - 51) 大西大, 野田進, 「2次元フォトニック結晶面発光レーザの低しきい値発振」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.
 - 52) 杉立厚志, 野田進, 「2次元フォトニック結晶スラブ導波路レーザの室温光励起発振」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.
 - 53) 宮井英次, 岡野誠, 望月理光, 野田進, 「2次元フォトニック結晶導波路と外部導波路との結合解析」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.
 - 54) 清田和明, 赤羽良啓, 浅野卓, 望月理光, 田中良典, 井本純平, 野田進,

- 「2次元フォトニック結晶による波長分合波デバイス—単一格子点を埋めたドナー型欠陥の導入—」, 第49回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.
- 55) 浅野卓, 清田和明, 井本純平, 赤羽良啓, 野田進, 「2次元フォトニック結晶による波長分合波デバイス—点欠陥間の干渉—」, 第49回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.
- 56) 望月理光, 赤羽良啓, 浅野卓, 田中良典, 野田進, 「2次元フォトニック結晶による波長分合波デバイス—ドナー型欠陥によるQ値の向上—」, 第49回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.
- 57) 浅野卓, 望月理光, 宋奉植, 野田進, 「2次元フォトニック結晶による波長分合波デバイス—面内ヘテロ構造の提案—」, 第49回応用物理学関係連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002.3.

(b) 研究会, シンポジウム

- 1) 今田昌宏, 石橋豊次, 野田進, 「質量輸送ウエハ融着法により形成した空気/半導体回折格子内蔵型DFBレーザ」, 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会 OPE97-138, 105-109, 1998.1.
- 2) 今田昌宏, 野田進, 「ウエハ融着法による空気/半導体回折格子内蔵型半導体レーザ」, 1998.電子情報通信学会春期総合大会シンポジウム, 「最近の結晶成長・プロセス技術と半導体デバイスの進展」, SC-10, 1998.3.
- 3) 野田進, 「光波長域3次元フォトニクス結晶の開発の現状」, 応用物理学学会関西支部セミナー, 「3次元マイクロ構造」, 1998.7.*
- 4) 野田進, 「フォトニック結晶の現状と将来展望」, 日本電子工業振興協会 光・超高周波デバイスおよびシステム専門委員会研究会, 1998.11.*
- 5) 野田進, 「光波長域にバンドギャップをもつ半導体3次元フォトニック結晶(招待)」, 第129回電気材料技術懇談会, 1999.12.*
- 6) 野田進, 「フォトニックバンド結晶の現状と将来」, 光未来技術研究会, 1999.1.*
- 7) 今田昌宏, チュチナン・アロンカーン, 野田進, 「2次元フォトニックバンド構造内蔵型面発光レーザ」, 応用物理学学会応用電子物性分科会研究会, 「面発光レーザの最近の展開」, 1999.1.*
- 8) 野田進, 「半導体3次元フォトニクス結晶と超小型2次元,3次元光回路」, 「PBCブレークスルー技術フォーラム」, 1999.3.*
- 9) 野田進, 「半導体フォトニクスの最近の話題:超高速サブバンド間遷移光—光変調と3次元フォトニックバンド構造の進展」, 電子情報通信学会第4回フェムト秒光エレクトロニクス研究会, 1999.9.*
- 10) 野田進, 「半導体3次元フォトニクス結晶と超小型光IC」, 日本テクノセンターセミナー, 1999.12.*
- 11) 野田進, 「フォトニック結晶の現状と将来展望」, OEIC・光インターコネクション技術懇談会事業OEIC・光インターコネクションミニワークショップ, 「21世紀を開く光技術」, 2000.1.*
- 12) 野田進, 「3次元フォトニック結晶」, 第4回関西大学先端科学技術シン

- ポジウム, 2000.1.*
- 13) S. Noda, "Semiconductor Photonic Crystals," 19th Electronic Materials Symposium, Izu-Nagaoka, (2000-6). *
 - 14) 野田進, 「半導体 2 次元, 3 次元フォトニック結晶」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会シンポジウム SC-4, 「フォトニック結晶開発の最前線」, 名古屋工業大学, 2000.10.*
 - 15) 野田進, 「フォトニック結晶技術の研究開発動向」, 電子情報通信学会ソサイエティ大会パネルディスカッション「光スイッチング・システム用フォトニック・サブシステム/デバイスの動向」, 名古屋工業大学, 2000.10.*
 - 16) 野田進, 「半導体光エレクトロニクスの最近の動向」 電子情報通信学会東海支部講演会, 名古屋工大学, 2000.11.*
 - 17) 野田進, 「超精密 3 次元プロセス技術とフォトニック結晶」 超精密第 42 回研究会, 大阪, 2000.11.*
 - 18) 野田進, 「フォトニック結晶レーザ」, 第 78 回微小光学研究会, 大阪, 2000.12.*
 - 19) 野田進, 「フォトニック結晶」, JST 異分野交流フォーラム, りんどう湖, 2001.1.*
 - 20) 野田進, 「フォトニック結晶およびそのデバイス応用: 一次世代超高速・大容量通信に向けた新しい光ナノ材料」, 神奈川科学アカデミー教育講座, 川崎, 2001.11.*
 - 21) 今田昌宏, 野田進, 「半導体 3 次元, 2 次元フォトニック結晶」, 第 2 回超高速光エレクトロニクス研究会, 東京大学先端科学技術研究センター, 2001.4.*
 - 22) 今田昌宏, 野田進, 「フォトニック結晶技術の最近の動向」, 第 2 回集積光デバイス技術研究会, 京大会館, 2001.4.*
 - 23) 野田進, 「半導体フォトニック結晶」, 日本学術振興会薄膜第 131 委員会第 205 回研究会, アジュール竹芝, 2001.4.*
 - 24) 野田進, 「フォトニック結晶の最新動向」, 光産業技術マンスリーセミナー, 光産業技術振興会, 2001.6.*
 - 25) 野田進, 「フォトニック結晶と光集積回路の構築」, 第 3 回分子ダイナミック分光ワークショップ, ホテルコンコルド浜松, 浜松, 2001.7.*
 - 26) 野田進, 「フォトニック結晶」, 有機エレクトロニクス材料研究会ワークショップ, (JOEM Workshop '01), 辰巳館, 群馬, 2001.7.*
 - 27) 野田進, 「新しいナノ光材料: フォトニック結晶」, 日刊工業新聞-京大共同企画産学協同セミナー, 「京大工学部の挑戦」, 大阪産業創造館, 大阪, 2001.7.*
 - 28) 野田進, 「2 次元フォトニック結晶レーザ」, 日本物理学会, 徳島文理大学, 徳島, 2001.9.*
 - 29) 横山光, 野田進, 「フォトニック結晶レーザ」, (財) 光産業技術振興協会, 第 2 回, 光材料・応用技術研究会, 東京, 2001.9.*
 - 30) 横山光, 野田進, 「フォトニック結晶レーザ」, (財) 光産業技術振興協会, 第 2 回, 光材料, 応用技術研究会, 東京, 2001.10.*

- 31) M. Yokoyama, M. Imada, and S. Noda, "Two-Dimensional Photonic Crystal Lasers— Polarization Mode Control —", 科技団戦略, 第 2 回領域シンポジウム, 東京, 2001.10. *
- 32) 野田進, 「新しいナノ光材料: フォトニック結晶」, 日刊工業新聞-京大共同企画産学協同セミナー「京大工学部の挑戦」, パレスホテル, 東京, 2001.10. *
- 33) 野田進, 「フォトニック結晶およびそのデバイス応用」, 一次世代超高速・大容量通信に向けた新しい光ナノ材料—, 野田進, 神奈川科学アカデミー教育講座, 川崎市, 2001.11. *
- 34) 横山光, 野田進, 「半導体フォトニック結晶レーザ」, 応用物理学会関西支部ナノフォトニクスセミナー, 大阪, 2001.12.6. *
- 35) 野田進, 「新しい光ナノ材料: フォトニック結晶とその応用—究極の光制御を目指して—」, 第二回ファイバーオプティクス EXPO 専門技術セミナー, 東京ビッグサイト, 2002.1. *
- 36) 野田進, 「新しい光ナノ材料: フォトニック結晶とその応用—究極の光制御を目指して—」, 第 29 回ニューセラミックスセミナー, 新大阪シティプラザ, 2002.2. *
- 37) 野田進, 「新しい光ナノ材料: フォトニック結晶」ニューガラスセミナー, 東京, 2002.3. *
- 38) 野田進, 「応用可能性の広がるフォトニック結晶」, NEDO フォーラム, 「理学・工学連携によるシナジー効果を求めて—技術革新をもたらす特異物性—」, こまばエミナース, 2002.3. *
- 39) 野田進, 「半導体フォトニック結晶とデバイス展開」, 光産業技術振興協会フォトニック結晶シンポジウム, 「基礎基盤研究から産業応用へ」, 2002.2. *
- 40) 野田進, 「新しい光ナノ構造: フォトニック結晶」, センサーテクノスクール, 京都, 2002.5. *
- 41) 野田進, 「フォトニック結晶- ナノ加工からビジネス展開-」, 応用電子物性研究会, 機会振興会館, 2002.6. *
- 42) 野田進, 「究極の光制御ナノ構造: フォトニック結晶」, 光とナノサイエンスシンポジウム, 大阪科学技術センター, 2002.11. *
- 43) 野田進, 「新しい光ナノ構造 ‘フォトニック結晶’ の展望」, 第 22 回光産業技術シンポジウム, 虎ノ門パストラル, 2002.6. *
- 44) 野田進, 「フォトニック結晶のデバイス応用」, 電子情報通信学会「光通信システムシンポジウム」, 箱根, 2002-12. *
- 45) 野田進, 「フォトニック結晶: ナノ光デバイスへの展開」, 光でナノテク・ナノサイエンスシンポジウム, 神戸国際会議場, 2002-12. *

[4] 解説等

- 1) 野田進, 「光波長域 3 次元フォトニクス結晶実現に向けて -自然放出光の完全制御のために-」, 光学, 第 27 巻, 第 1 号, 解説, 6-11, (1998). *
- 2) 野田進, 「ウエハボンディング技術, 電気学会技術報告 センサ用無機材料」, プロセス技術 708, 59-62 (1999).

- 3) 野田進, 「ウェーハボンディング技術による新しい光材料 -フォトニクス結晶の創製-」, 電子情報通信学会誌, 第 82 巻, 第 3 号, 解説, 232-241 (1999). *
- 4) 野田進, 「ウェハー融着法による半導体/空気三次元周期構造」, 応用物理, 第 68 巻, 第 4 号, 技術ノート, 426-427 (1999).
- 5) 野田進, 「半導体フォトニクス結晶」, 光協会編, 光技術動向調査報告書 XV, 17-22, (1999). *
- 6) バーバラ・ゴス・レビィ著, 野田進訳, 「光を自在にあやつる人工結晶- 急進展する 3 次元フォトニクス結晶」, パリティ, 第 14 巻, 第 10 号, クローズアップ, 57-61 (1999). *
- 7) 野田進, 「光波長域 3 次元フォトニクス結晶」, パリティ, 第 14 巻, 第 10 号, コラム, 62-63 (1999). *
- 8) 野田進, 「半導体 3 次元フォトニック結晶」, O plus E, 第 21 巻, 第 12 号, 特集フォトニック結晶, 1539-1548 (1999).
- 9) 野田, 「半導体フォトニック結晶と期待される応用」, オプトロニクス, 226, 10, 112-120 (2000).
- 10) 野田, 馬場, 小坂, 小野編集, 「フォトニック結晶研究の現状と将来展望 -テクノロジーロードマップを目指 15. して」, 光産業技術振興協会出版, Book 12-012-1, (全 133 頁), 2000 年.
- 11) S. Noda, "Photonic Crystals," SPIE OE-Magazine, October (2001).
- 12) 野田進, 「フォトニック結晶」, 光学, 第 30 巻, 第 1 号, 56-64 (2001).
- 13) 野田進, 「解説: 半導体 3 次元フォトニック結晶」, 日本結晶成長学会誌, 28 巻 1 号, 3-12 (2001).
- 14) 野田進, 「注目のフォトニック結晶, 総論: フォトニック結晶とその狙い」, オプトロニクス, 235, 179-186 (2001).
- 15) 野田進, 「EO/QELS 2001 「フォトニック結晶」 報告」, レーザ研究, 29, 547-548 (2001).
- 16) 野田進, 「新しい光ナノ材料・デバイス: フォトニック結晶 - 究極の光の制御を目指して-」, KEC 情報誌, 178 (2001).
- 17) 野田進, 「フォトニック結晶」, 光産業技術振興協会編光産業技術動向調査, 2.5 節, (2001).
- 18) 今田昌宏, 野田進, 「半導体フォトニック結晶とその応用」, 表面科学 (2001).
- 19) 野田進, 「フォトニック結晶」, 21 世紀の情報技術産業を支える有機エレクトロニクス, (有機エレクトロニクス材料研究会 編), 6.2 項, 185-194 (2001).
- 20) 山本宗継, 野田進, 「ウェハー融着を用いた 3 次元フォトニック結晶」, レーザ学会, 30, 59-64 (2002).
- 21) 野田進, 「フォトニック結晶と欠陥エンジニアリング」, 物理学会誌, 46-49, (2002).
- 22) 野田進, 「究極の光制御材料: フォトニック結晶」, 固体物理 (2002).

[5] 単行本 (単著, 共著の別)

- 1) 野田 進, 「II-1 総説 -2次元フォトニック結晶を例として-」 および「II-2. 半導体完全3次元フォトニック結晶の作製と応用」, CMC「フォトニック結晶の基礎と光デバイスへの応用」, 川上編, 第2章, 2-1項および2-2項, (2001).
- 2) 野田 進 「フォトニック結晶とは」, 科学同人, 平尾編, (2002).
- 3) Noda and Baba, Ed, "Road Map of Photonic Crystal" Kluwer Academic Publisher (出版予定)
- 4) Noda, "Semiconductor Photonic Crystals and Devices" Oxford Press Publisher (出版予定)

[6] その他

6-1 マスコミ等にとりあげられた記事

(<http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/~lab05/articles.html> に詳細が記載)

- 1) "Visible Progress Made in Three-Dimensional Photonics 'Crystals,'" 米国 Physics Today 誌, 1999年1月号.
- 2) "Lasing Demonstrated in Tiny Cavities Made with Photonic Crystals," 米国 Physics Today 誌, 1999年9月号.
- 3) "How to be truly photonic," 米科学誌サイエンス, 2000年7月28日号.
- 4) "Photonic bandgaps from neat log stacks," 米化学学会 C&E News, 2000年7月31号.
- 5) "Best Photonic Crystal et Could Be Light Chip" 米国 Microelectronics Technology Alert 誌, 2000年7月28日号.
- 6) "One Defect Is Enough to Manipulate Photons," 米国 Microelectronics Technology Alert 誌, 2000年10月5日号.
- 7) "Coddled crystal slams door on light," 米国 The weekly Newsmagazine of Science - Science News, 2000年9月2日号.
- 8) "Photonic crystal achieves full bandgap in near-infrared," 米国 Laser Focus World, 2000年9月号.
- 9) "Defects select individual wavelengths," 米国 Laser Focus World, 2000年1月号.
- 10) "Defects boost optical communications," 米国 Physicsweb, 2000年10月号.
- 11) "Semiconductors Stack Up as Photonic Crystals," 米国 Photonis Spectra, 2000年11月号.
- 12) "Defects Pave the Way for New Optical Devices," 米国 Photonis Spectra, 2000年1月号.
- 13) "Photonic Crystal Lattice Control Laser Polarization," 米国 Photonis Spectra, 2000年1月号.
- 14) "Demain La Photonique," 仏国 VU SCIENCES.
- 15) "En route pour Photoniqueville," 仏国 Science & Vie 誌, 2000年10月号.
- 16) 「フォトニック結晶特集」, 日経エレクトロニクス, 1998年11月16日号.
- 17) 「光波長域でのフォトニック結晶実現」, 日経エレクトロニクス, 1999

年2月8日号.

- 18) 「フォトリック結晶レーザの実現」, 日経エレクトロニクス, 4月22日号.
- 19) 「3次元フォトリック結晶の大きな進展」, パリティ, 1999年10月号.
- 20) 「光波長域でのフォトリック結晶実現」, 日刊工業新聞, 1998年7月8日号.
- 21) 「面発光半導体レーザフォトリック結晶で製作」, 日刊工業新聞, 1999年4月1日号.
- 22) 「フォトリック結晶: 光ICの決め手」, 日刊工業新聞, 1999年4月6~9号(連載).
- 23) 「張り合わせ窒化Ga結晶融着に成功 - 光部品の小型化に道」, 日刊工業新聞, 2000年7月17日号.
- 24) 「3次元フォトリック結晶作製 - 光通信帯で完全特性」, 日刊工業新聞, 2000年7月21日号.
- 25) 「フォトリック結晶に単一欠陥作製 異なる波長の光を捕獲」, 日刊工業新聞, 2000年10月5日号.
- 26) 「そろった直線偏光を実現--2次元のフォトリック結晶で制御」, 日刊工業新聞, 2001年8月10日号.
- 27) 「超小型光チップへ一歩 - 新半導体結晶京大など開発」, 読売新聞, 2000年7月28日号.
- 28) 「光自在に曲げる通信新素材」, 読売新聞, 2000年10月5日号.
- 29) 「世界最先端の高精度光結晶」, 読売新聞, 2001年10月17日号.
- 30) 「ガリウムヒ素化合物で光回路」, 京都新聞, 2000年8月17日号.
- 31) 「波長に合わせて自由自在「光結晶」を開発 - 超小型, 光通信活用へ」, 京都新聞, 2000年10月5日号.
- 32) 「大出力で単一波長発振半導体レーザ」, 京都新聞, 2001年8月10日号.
- 33) 「まっすぐな光発振面発光レーザ一開発」, 日本経済新聞, 2001年8月10日号.
- 34) 「光信号を分離・合流 - 京大, 高速通信用に新材料」, 日経産業新聞, 2000年10月5日号.
- 35) 「面発光レーザ, まっすぐ強い光出す」, 日経産業新聞, 2001年8月10日号.
- 36) 「光子をコントロール超小型光学素子に利用も」, 科学新聞, 2000年10月5日号.
- 37) 「フォトリック結晶で新型レーザーを開発」, 科学新聞, 2001年8月24日号.
- 38) 「フォトリック結晶による光子の捕獲の観察に成功」, O plus E, 2000年11月号.
- 39) 「フォトリック結晶で面発光レーザを実現」, O plus E, 2001年9月号.
- 40) 「完全フォトリック結晶の実現と新しい機能の実証」, O plus E, 2001年12月号.
- 41) 「完全3次元フォトリック結晶」, オプトロニクス, 2001年7月号表紙.

- 42) 「偏光の揃ったフォトニック結晶面発光レーザ発振に成功」, オプトロニクス, 2001年10月号.
- 43) 「完全3次元結晶および2次元結晶の写真」, 日本物理学会誌, 2002年1月号表紙.

6-2 受賞関係 (特記すべき事項でも)

- 1) 第2回丸文学術研究奨励賞受賞 (平成11年3月5日), 受賞業績: 野田進 「フォトニック結晶の形成とサブバンド間遷移光変調に関する探索的研究」
- 2) 第14回日本IBM科学賞 (平成12年12月4日)。受賞業績: 野田進 「半導体フォトニック結晶とその応用に関する研究」
- 3) H14年度光産業技術振興協会 櫻井賞受賞(H14年12月5日). 受賞業績: 野田進、「半導体フォトニック結晶の研究」
- 4) 第3回応用物理学会講演奨励賞(1997年)受賞 受賞論文: 山本, 野田 「ウェハ融着による光領域3次元フォトニック結晶実現法(V)」
- 5) 1998 IEEE LEOS Paper Award 受賞 受賞論文: N. Yamamoto and S. Noda, “Development of a Period of Three-Dimensional Photonic Crystal Operating at Optical Wavelength Region”, InP and Related Material Conference, May 1998
- 6) 電子情報通信学会平成10年度学術奨励賞受賞 受賞論文: 今田, 野田 「ウェハ融着法による空気/半導体回折格子内蔵型半導体レーザ」
- 7) 1999年応用物理学会賞B受賞 受賞論文: T. Asano and S. Noda, “Relaxation time of Short Wavelength Intersubband Transition in InGaAs/AlAs Quantum Wells,” Jpn. J. Appl. Phys., **37**, (1998)6020.
- 8) 第6回応用物理学会講演奨励賞(1999年)受賞 受賞論文: 今田, 野田 「ウェハ融着法による2次元フォトニクス結晶内蔵型面発光レーザ」

6-3 各班間の連携と共同研究の成果

大高班, 迫田氏との共同研究・・・共著論文執筆
 馬場班とのプロセス技術の連携
 その他

6-4 関連した国際学会, シンポジウムの組織委員, プログラム委員

1998年 半導体レーザ国際会議, 組織委員
 1998年 化合物半導体国際会議, 論文委員
 1999年 MSS (Modulated Semiconductor Structure)国際会議, 論文委員
 1999年 SSDM, 論文委員
 1999年 日本-スウェーデン合同量子ナノシンポジウム現地委員
 2000年 PECS, 組織委員
 2000~2002年 FST (Workshop on Femtosecond Technology) 論文委員
 2001年 IPRM (InP and Related Material Conference) 論文委員
 2001年 CLEO/PR “Novel Optics” Session, Chair
 2001~2002年 OSA Integrated Photonic Research Topical Meeting (IPR), “Nanophotonics”, プログラム委員

2001～2002 年 SPIE “Photonic Crystal”, プログラム委員
2002～2003 年 MRS Spring Meeting “Micro Photonics”, オーガナイザー
2002 年 CLEO/QELS プログラム委員
2002 年 OECC プログラム委員
2002 年 SSDM プログラム委員
2003 年 CLEO/PR “Photonic Crsytal” Session, Chair

A-2 我班

[1] 原著論文

- 1) T. Baba, N. Fukaya, and J. Yonekura, “Observation of light transmission in photonic crystal waveguides with bends,” *Electron. Lett.* **27**, 8, 654-655 (1999).
- 2) J. Yonekura, M. Ikeda, and T. Baba, “Analysis of finite 2-D photonic crystals of columns and lightwave devices using the scattering matrix method,” *J. Lightwave Technol.* **18**, 1500-1508 (1999).
- 3) T. Baba, K. Inoshita, H. Tanaka, J. Yonekura, M. Ariga, A. Matsutani, T. Miyamoto, F. Koyama, and K. Iga, “Strong enhancement of light extraction efficiency in GaInAsP 2-D photonic crystals of columns,” *J. Lightwave Technol.* **17**, 2113-2120 (1999).
- 4) N. Fukaya, D. Ohsaki, and T. Baba, “2-D photonic crystal waveguides with 60-degree-bends in a thin slab structure,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **39**, 2619-2623 (2000).
- 5) M. Ariga, Y. Sekido, and T. Baba, “Low threshold GaInAsP lasers with semiconductor/air DBR fabricated by inductively coupled plasma etching,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **39**, 3406-3409 (2000).
- 6) H. Ichikawa, K. Inoshita, and T. Baba, “Reduction in surface recombination of GaInAsP/InP Micro-Columns by CH₄ plasma irradiation,” *Appl. Phys. Lett.* **78**, 2119-2121 (2001).
- 7) T. Baba, N. Fukaya, and A. Motegi, “Clear correspondence between theoretical and experimental light propagation characteristics in photonic crystal waveguides,” *Electron. Lett.* **37**, 761-762 (2001).
- 8) T. Baba and D. Ohsaki, “Interfaces of photonic crystals for high efficiency light transmission,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **40**, 5920-5924 (2001).
- 9) T. Baba, A. Motegi, T. Iwai, N. Fukaya, Y. Watanabe, and A. Sakai, “Light propagation characteristics of straight single line defect optical waveguides in a photonic crystal slab fabricated into a silicon-insulator substrate,” *IEEE J. Quantum Electron.* **38**, 743-752 (2002).
- 10) T. Baba and M. Nakamura, “Photonic crystal light deflection devices using the superprism effect,” *IEEE J. Quantum Electron.* **38**, 909-914 (2002).
- 11) T. Baba and T. Matsumoto, “Resolution of photonic crystal superprism,” *Appl. Phys. Lett.* **81**, 2325-2327 (2002).
- 12) K. Aoki, H. T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya and Y. Aoyagi, “3D photonic crystals fabricated by micromanipulation technique,” *Appl. Phys. Lett.* **81**, 3122-3124 (2002).
- 13) K. Aoki, H. T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, K. Sakoda, N. Shinya and Y. Aoyagi, “Microassembly of semiconductor three-dimensional

- photonic crystals,” *Nature Materials* **2**, 117-121 (2003).
- 14) T. Baba and T. Iwai, “Enhancement of third order nonlinearity calculated for 2-D photonic crystals,” *Jpn. J. Appl. Phys.* **42**, (2003, in press).

[2] 国際学会(*招待講演)

- 1) T. Baba, “Photoluminescence in GaInAsP/InP 2-D photonic crystals,” Workshop on Electromagnetic Crystal Systems, IV-4, Los Angeles (1999-1).
- 2) N. Fukaya, J. Yonekura, and T. Baba, “First successful fabrication and evaluation of 2-dimensional photonic crystal waveguides with bends,” Microoptic Conf., MK4, Makuhari (1999-7).
- 3) J. Yonekura, M. Ikeda, and T. Baba, “Scattering matrix analysis of 2-D photonic crystal lightwave circuits,” Microoptic Conf., MF4, Makuhari (1999-7).
- 4) T. Baba, N. Fukaya, and J. Yonekura, “Observation of light propagation in 2-D photonic crystal optical waveguides with bends,” Int. Photon. Res. Conf., RTuE3, Santa Barbara, (1999-7).
- 5) T. Baba, K. Inoshita, H. Tanaka, J. Yonekura, M. Ariga, A. Matsutani, T. Miyamoto, F. Koyama and K. Iga, “Strong enhancement of extracted spontaneous emission from GaInAsP 2-D photonic crystals,” Pacific Rim Conf. Laser and Electro-Optics, ThD1, Seoul, (1999-9). *
- 6) M. Ariga, Y. Sekido, T. Baba, A. Matsutani, F. Koyama, and K. Iga, “Low threshold GaInAsP lasers with semiconductor/air DBR fabricated by inductively coupled plasma etching,” Pacific Rim Conf. Laser and Electro-Optics, FU6, Seoul (1999-9).
- 7) T. Baba, “Light emission and waveguiding in semiconductor photonic crystals,” Int. Conf. Solid State Devices and Materials, D-8-4, Tokyo, (1999-10). *
- 8) T. Baba, M. Fujita, and A. Sakai, “Microdisk-based photonics,” Int. Sympo. Ultra-Parallel Optoelectronics, C-3, Kawasaki, (2000-2).
- 9) T. Baba, “Control of light emission and guiding in 2-D photonic crystals,” Int. Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, W2-2, Sendai (2000-3).
- 10) K. Inoshita, T. Iwai, and T. Baba, “Fabrication of injection-type light emitters GaInAsP 2-D photonic crystal by ICP etching,” Int. Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, W4-3, Sendai (2000-3).
- 11) N. Fukaya, D. Ohsaki, and T. Baba, “Fabrication of air-hole photonic crystal slab for optical waveguides with steep bends,” Int. Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, W4-6, Sendai, (2000-3).
- 12) T. Baba, N. Fukaya, and D. Ohsaki, “Light propagation characteristics in defect waveguides in a photonic crystal states,” NATO Advanced Research Workshop “Photonic Crystals and Light Localization,” Th-7, Crete (2000-6).
- 13) T. Baba, T. Yonehana, and D. Ohsaki, “FDTD simulation of light transmission in 2-D photonic crystals made of optical Kerr media,” 7th Int. Workshop Femtosecond Technol., FB-7, Tsukuba (2000-6).
- 14) T. Baba, “Photonic crystals by planar technologies,” Optoelectronic Conf., 12D-1-3, Makuhari (2000-7).

- 15) T. Baba, "Photonic microstructures --- microdisk lasers and photonic waveguides," IEEE/LEOS Annual Meeting, WK-1, Puerto Rico (2000-11). *
- 16) H. Ichikawa, K. Inoshita, and T. Baba, "Reduced surface recombination and strongly enhanced light extraction in CH₄-plasma-irradiated GaInAsP photonic crystals," IEEE/LEOS Annual Meeting, WK-3, Puerto Rico (2000-11).
- 17) T. Baba, "Recent development of microdisk lasers and waveguides," Int. Topical Meet. Indium Phosphide and Related Mat., Tu-B-2, Nara (2001-5).
- 18) T. Baba, "Light propagation characteristics of microguides in photonic crystal slabs," Int. Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures, II-6, St. Andrews (2001-6). *
- 19) K. Aoki, H. T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya and Y. Aoyagi, "Fabrication of 3D photonic crystal from 2D photonic plates by micromanipulation," St. Andrews (2001-6).
- 20) T. Baba, N. Fukaya, and A. Motegi, "Light propagation characteristics in photonic crystal waveguides," Pacific Rim Conf. on Laser and Electro-Optics, TuA4-5, Makuhari (2001-7).
- 21) K. Aoki, H. T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya and Y. Aoyagi, "Fabrication of 3D photonic crystal from 2D photonic plates by micromanipulation," Pacific Rim Conf. on Laser and Electro-Optics, MA2-2, Makuhari (2001-7).
- 22) T. Baba, D. Ohsaki, T. Iwai, and M. Nakamura, "Transmission-type photonic crystal devices with efficient input/output interfaces," Pacific Rim Conf. on Laser and Electro-Optics, TuA3-5, Makuhari (2001-7).
- 23) H. Ichikawa, K. Inoshita, T. Baba, and Y. Aizawa, "SIMS analysis of CH₄-plasma-irradiated GaInAsP surface for reduction in surface recombination of micro light emitters," Pacific Rim Conf. on Laser and Electro-Optics, P12-61, Makuhari (2001-7).
- 24) T. Baba, "Photonic crystals and microlasers," Asia-Pacific Radio Science Conf., D1-1-1, Tokyo (2001-8). *
- 25) T. Baba, "Photonic lasers and waveguides," Korean Photon. Conf., Sorak (2001-10). *
- 26) T. Baba, "Photonic micro/nanostructures for PBG and index confinements," Int. Sympo. Contemporary Photon. Technol., K-3, Tokyo (2002-1).
- 27) K. Aoki, H. T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya and Y. Aoyagi, "3D photonic crystals fabricated by micromanipulation technique," Mat. Res. Soc. Spring Meet., L7.2, San Francisco (2002-4).
- 28) T. Baba and H. Ichikawa, "Photonic crystal light extractor in light emitting devices," Optoelectronic and Commun. Conf., Yokohama (2002-7). *
- 29) A. Sakai, T. Fukazawa, and T. Baba, "Polarization conversion at micro-bend in Si photonic wire waveguide," Integrated Photon. Res. Conf., IFB4, Vancouver (2002-7).
- 30) H. Ichikawa and T. Baba, "High efficiency light emitting diode with 2-D surface grating photonic crystal," Integrated Photon. Res. Conf., IFF3, Vancouver (2002-7).
- 31) T. Baba and T. Iwai, "Enhancement of third order nonlinearity calculated for 2-D photonic crystal," Integrated Photon. Res. Conf., IthF3, Vancouver

- (2002-7).
- 32) T. Baba, "Light transmission in photonic bandgap waveguides and photonic band crystals," SPIE "Active and Passive Optical Components for WDM Communication II", 4870-43, Boston (2002-7). *
 - 33) T. Matsumoto and T. Baba, "Resolution of photonic crystal superprism filter," Int. Workshop on Photon. and Electromagnetic Crystal Structures, K-4, Los Angeles (2002-10).
 - 34) K. Aoki, H.T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya, and Y. Aoyagi, "High-speed assembly technology for three-dimensional photonic crystals," Int. Workshop on Photon. and Electromagnetic Crystal Structures, Los Angeles (2002-10).
 - 35) K. Inoshita, T. Izumi and T. Baba, "Fabrication of airhole-type GaInAsP/InP photonic crystal by ICP etching," Int. Microprocess and Nanotechnology Conf., 7P-7-24, Tokyo (2002-11).
 - 36) T. Baba, "Photonic crystals and microlasers," IEEE/LEOS Annual Meet., WS-1, Glasgow (2002-11). *
 - 37) T. Baba, K. Inoshita, D. Sano, A. Nakagawa and K. Nozaki, "Microlasers based on photonic crystal concept," SPIE "Photonic Crystal Materials and Devices, 5000-05, San Jose (2003). *
 - 38) T. Baba, "Photonic crystals and micro-/nano-lasers," JSPS-Sweden Colloquium, Stockholm (to be presented in 2003-6). *
 - 39) T. Baba, "Device applications of semiconductor photonic crystal," Int. Sympo. Femto-Second Technol., Makuhari (to be presented in 2003-7). *
 - 40) T. Baba, "Semiconductor photonic crystal and nanostructure devices," IEEE/LEOS Opt. MEMS, Hawaii, (to be presented in 2003-8). *
 - 41) T. Baba, "Semiconductor photonic crystal devices," Int. Conf. Solid State Devices and Mat., Tokyo, (to be presented in 2003-9). *
 - 42) T. Baba, "Light propagation and localization in photonic crystals," Progress in Electromagnetics Research Symposium, Hawaii (to be presented in 2003-10). *
 - 43) T. Baba, "Ultra-small light emitting devices," Fall Meet. Material Res. Soc., Boston (to be presented in 2003-11). *
 - 44) T. Baba, "Micro/nano-photonic science and technologies", Japanese-American Frontiers of Science, Shonan (to be presented in 2003-11). *

[3] 国内発表 (*招待講演)

(a) 学会

- 1) 有賀麻衣子, 坂井篤, 馬場俊彦, 「半導体/空気 DBR 短共振器レーザの FDTD 電磁界解析」, 秋季応用物理学学会講演会, 15a-A-24 (1998).
- 2) 米倉淳, 馬場俊彦, 「散乱行列を用いた有限 2 次元フォトニック結晶の透過特性計算(III) —円柱蜂の巣配列による完全バンドギャップ」, 秋季応用物理学学会講演会, 17p-T-8 (1998).
- 3) 米倉淳, 馬場俊彦, 「有限 2 次元フォトニック結晶と微小光回路の光伝搬解析」, 電子情報通信学会ソサイアティ大会, SC-5-3 (1998).
- 4) 有賀麻衣子, 関戸雄志, 坂井篤, 馬場俊彦, 松谷晃宏, 小山二三夫, 伊

- 賀健一, 「ICP エッチングによる半導体/空気 DBR 短共振器レーザの動作特性と FDTD 解析との比較」, 春季応用物理学会講演会, 28p-B-5 (1999).
- 5) 米倉淳, 馬場俊彦, 「散乱行列を用いた有限 2 次元フォトリソニック結晶の透過特性計算(IV) -- 欠損列光導波路の諸特性」, 春季応用物理学会講演会, 29p-E-1 (1999).
 - 6) 井下京治, 田中寛子, 米倉淳, 馬場俊彦, 松谷晃宏, 宮本智一, 小山二三夫, 伊賀健一, 「ICP エッチングによる円柱蜂の巣配列 2 次元フォトリソニック結晶のバンドギャップ観測」, 春季応用物理学会講演会, 29p-E-2 (1999).
 - 7) 田中寛子, 井下京治, 馬場俊彦, 「円柱蜂の巣配列フォトリソニック結晶の自然放出寿命と発光強度の評価」, 春季応用物理学会講演会, 29p-E-3 (1999).
 - 8) 有賀麻衣子, 関戸雄志, 坂井篤, 馬場俊彦, 松谷晃宏, 小山二三夫, 伊賀健一, 「ICP エッチングによる半導体/空気 DBR 短共振器レーザの低しきい値化」, 秋季応用物理学会講演会, 3a-ZE-39 (1999).
 - 9) 井下京治, 馬場俊彦, 松谷晃宏, 小山二三夫, 伊賀健一, 「GaInAsP 円柱 2 次元フォトリソニック結晶を用いた発光ダイオードの試作」, 秋季応用物理学会講演会, 3p-L-3 (1999).
 - 10) 深谷尚志, 米倉淳, 馬場俊彦, 「半導体薄膜円孔 2 次元フォトリソニック結晶導波路」, 秋季応用物理学会講演会, 3p-L-7 (1999).
 - 11) 米花知生, 坂井篤, 馬場俊彦, 「2 次元フォトリソニック結晶の非線形 FDTD 解析」, 秋季応用物理学会講演会, 3p-L-8 (1999).
 - 12) 有賀麻衣子, 関戸雄志, 川津康朗, 坂井篤, 馬場俊彦, 松谷晃宏, 小山二三夫, 伊賀健一, 「ICP エッチングによる低しきい値半導体/空気 DBR 短共振器レーザ」, 電子情報通信学会ソサイアティ大会, C-4-19 (1999).
 - 13) 深谷尚志, 米倉淳, 馬場俊彦, 「円孔型 2 次元フォトリソニック結晶導波路の製作と評価」, 電子情報通信学会ソサイアティ大会, C-3-9 (1999).
 - 14) 深谷尚志, 大崎大輔, 馬場俊彦, 「SOI ウエハ上円孔型 2 次元フォトリソニック結晶導波路」, 応用物理学会春季講演会, 28a-ZF-1 (2000).
 - 15) 井下京治, 岩井剛, 馬場俊彦, 「電流注入型 2 次元円孔フォトリソニック結晶レーザの試作」, 応用物理学会春季講演会, 28p-P5-1 (2000).
 - 16) 米花知生, 大崎大輔, 馬場俊彦, 「2 次元フォトリソニック結晶の群速度が小さいバンドにおける非線形効果の増大」, 応用物理学会春季講演会, 28a-ZF-2 (2000).
 - 17) 大崎大輔, 米花知生, 馬場俊彦, 「2 次元フォトリソニック結晶の無反射化に関する一検討」, 応用物理学会春季講演会, 28a-ZF-3 (2000).
 - 18) 米花知生, 岩井剛, 馬場俊彦, 「2 次元フォトリソニック結晶の群速度が小さいバンドにおける非線形応答特性」, 応用物理学会秋季講演会, 5a-Q-4 (2000).
 - 19) 井下京治, 馬場俊彦, 「2 次元フォトリソニック結晶電流注入レーザ(2) --- 加工の最適化と共振モード観測」, 応用物理学会秋季講演会, 5p-Q-15 (2000).
 - 20) 深谷尚志, 馬場俊彦, 「2 次元フォトリソニック結晶導波路の伝搬損失評価」,

- 応用物理学会秋季講演会, 5p-Q-4 (2000).
- 21) 大崎大輔, 馬場俊彦, 「高い光透過率を示す突起つきフォトニック結晶構造の提案」, 応用物理学会秋季講演会, 5p-Q-8 (2000).
 - 22) 馬場俊彦, 中村公紀, 大崎大輔, 「フォトニック結晶のスーパープリズム効果を用いた光偏向素子の提案」, 応用物理学会秋季講演会, 5p-Q-9 (2000).
 - 23) 市川弘之, 井下京治, 馬場俊彦, 「CH₄ プラズマ照射による GaInAsP フォトニック結晶の表面再結合の低減」, 応用物理学会秋季講演会, 5p-Q-18 (2000).
 - 24) 市川弘之, 井下京治, 壇弘哉, 馬場俊彦, 「円柱型フォトニック結晶の光取り出し効率の 3 次元 FDTD 解析」, 応用物理学会秋季講演会, 5p-Q-19 (2000).
 - 25) 馬場俊彦, 井下京治, 深谷尚志, 大崎大輔, 市川弘之, 米花知生, 岩井剛, 中村公紀, 「フォトニック結晶の応用技術 - 現状と今後の可能性」, 電子情報通信学会ソサイアティ大会, SC-4-3 (2000).
 - 26) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶材料」, 電気関係学会東海支部連合大会「光エレクトロニクスにおける最近の話題」シンポジウム, S6-3 (2000). *
 - 27) 馬場俊彦, 「微小フォトニクス of 現状と今後の展望」, レーザ学会学術講演会, F-3 (2001). *
 - 28) 馬場俊彦, 「導波, 発光制御: 何が見えてきたか?」, 応用物理学会春季講演会, SC-4 (2001). *
 - 29) 深谷尚志, 茂木歩, 馬場俊彦, 「フォトニック結晶導波路の光伝搬特性 --- SOI とエアブリッジの比較」, 応用物理学会春季講演会, 30a-YK-2 (2001).
 - 30) 青木画奈, 宮崎英樹, 平山秀樹, 井下京治, 馬場俊彦, 青柳克信, 新谷紀雄, 「マイクロマニピュレーション法による 3 次元フォトニック結晶の作製」, 応用物理学会春季講演会, 29p-ZH-7 (2001).
 - 31) 岩井剛, 大崎大輔, 馬場俊彦, 「突起構造をもつ 2 次元フォトニック結晶中の低群速度バンドにおける非線形増大」, 応用物理学会春季講演会, 30p-YK-7 (2001).
 - 32) 中村公紀, 大崎大輔, 馬場俊彦, 「フォトニック結晶偏向素子の FDTD 解析」, 応用物理学会春季講演会, 30p-YK-5 (2001).
 - 33) 大崎大輔, 馬場俊彦, 「高い光透過率を示す突起つきフォトニック結晶構造 --- 構造の最適化」, 応用物理学会春季講演会, 30p-YK-6 (2001).
 - 34) 井下京治, 馬場俊彦, 「ICP によるサブミクロン円孔配列の加工」, 応用物理学会春季講演会, 31a-ZX-7 (2001).
 - 35) 市川弘之, 井下京治, 馬場俊彦, 會澤康治, 「CH₄-ECR プラズマ照射された GaInAsP/InP の SIMS 分析」, 応用物理学会春季講演会, 31a-ZX-8 (2001).
 - 36) 茂木歩, 馬場俊彦, 「フォトニック結晶導波路の光伝搬評価(2) -- 1 列欠陥での伝搬」, 応用物理学会秋季講演会, 13p-ZK-3 (2001).
 - 37) 岩井剛, 茂木歩, 深谷尚之, 馬場俊彦, 「フォトニック結晶導波路の光伝搬評価(3) - 実験と理論の対応」, 応用物理学会秋季講演会, 13p-ZK-4 (2001).

- 38) 市川弘之, 馬場俊彦, 「表面回折格子型 2 次元フォトニック結晶 LED の提案」, 応用物理学会秋季講演会, 14a-ZK-8 (2001).
- 39) 青木画奈, 宮崎英樹, 平山秀樹, 井下京治, 馬場俊彦, 新谷紀雄, 青柳克信, 「3 次元 InP フォトニック結晶の光学特性及び大型結晶作製の試み」, 応用物理学会秋季講演会, 14p-ZK-4 (2001).
- 40) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶による光伝搬・発光制御」, 日本物理学会秋季講演会, 19a-RF-7 (2001). *
- 41) 青木画奈, 宮崎英樹, 平山秀樹, 井下京治, 馬場俊彦, 新谷紀雄, 青柳克信, 「3 次元フォトニック結晶の作製とその光学特性」, 応用物理学会春季講演会, 28a-ZF-1 (2002).
- 42) 井下京治, 和泉哲郎, 馬場俊彦, 「形状が異なるフォトニック結晶欠陥共振器の共振モード観測」, 応用物理学会春季講演会, 28p-ZF-6 (2002).
- 43) 市川弘之, 馬場俊彦, 「表面回折格子型 2 次元フォトニック結晶 LED (II) 効率の向上」, 応用物理学会春季講演会, 28p-ZF-8 (2002).
- 44) 馬場俊彦, 松本崇, 「フォトニック結晶スーパープリズムの分解能」, 応用物理学会春季講演会, 28p-ZF-17 (2002).
- 45) 茂木歩, 馬場俊彦, 「フォトニック結晶線欠陥導波路の 60°曲げにおける透過特性計算」, 応用物理学会春季講演会, 29p-L-4 (2002).
- 46) 井下京治, 和泉哲郎, 馬場俊彦, 「フォトニック結晶導波路のカットオフ帯を利用する単一モード共振器」, 応用物理学会春季講演会, 29p-L-12 (2002).
- 47) 岩井剛, 馬場俊彦, 「2 次元フォトニック結晶の Γ 点における非線形増大」, 応用物理学会春季講演会, 29p-L-17 (2002).
- 48) 井下京治, 馬場俊彦, 「ICP エッチングによるサブミクロン円孔配列の加工(II) エッチング機構の考察」, 応用物理学会秋季講演会, 25a-ZB-1 (2002).
- 49) 松本崇, 馬場俊彦, 「波数ベクトルの特異性を利用するフォトニック結晶スーパープリズムの検討」, 応用物理学会秋季講演会, 26a-YA-7 (2002).
- 50) 松本崇, 馬場俊彦, 「波数ベクトルの特異性を利用するフォトニック結晶スーパープリズムの検討(II) -- 高分解能条件の探索」, 応用物理学会春季講演会 (2003).
- 51) 森大祐, 馬場俊彦, 「チャープ構造をもつフォトニック結晶導波路の検討」, 応用物理学会春季講演会 (2003).
- 52) 野崎謙悟, 馬場俊彦, 「フォトニック準結晶点欠陥レーザの検討」, 応用物理学会春季講演会 (2003).
- 53) 井下京治, 馬場俊彦, 「GaInAsP フォトニック結晶点欠陥レーザの発振特性」, 応用物理学会春季講演会 (2003).
- 54) 井下京治, 馬場俊彦, 「点と線の複合欠陥共振器をもつフォトニック結晶レーザの発振/共振特性」, 応用物理学会春季講演会 (2003).

(b) 研究会, シンポジウム

- 1) 馬場俊彦, 「半導体フォトニック結晶の展望と課題」, 共同プロジェクト

- 「フォトニック結晶とデバイス応用の研究」第1回研究会, 2-2 (1998).
- 2) 馬場俊彦, 「微小半導体発光素子と周辺技術」, 日本時計学会研究会, 1 (1998). *
 - 3) 馬場俊彦, 「半導体フォトニック結晶」, 応用磁気学会光スピニクス研究会「フォトニック材料と磁気光学への展開」, 2 (1998). *
 - 4) 馬場俊彦, 「半導体フォトニック結晶の現状と将来」, 日本工業技術振興協会ナノ構造物質研究会, 1 (1999). *
 - 5) 馬場俊彦, 「半導体フォトニック結晶の未来像」, マイクロ化学懇話会, 2 (1998). *
 - 6) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶」, 新化学発展協会クラスター・超微粒子分科会講演会, 2 (1998). *
 - 7) 馬場俊彦, 「極限微小半導体光素子と高密度光回路」, 光産業技術振興協会次世代光ナノメモリ推進機構研究会, 6 (1999). *
 - 8) 米倉淳, 馬場俊彦, 「フォトニック結晶光波回路の散乱行列解析」, 特定領域「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」公開シンポジウム, 7 (1999).
 - 9) 馬場俊彦, 井下京治, 田中寛子, 米倉淳, 「GaInAsP フォトニック結晶のバンドギャップと発光寿命評価」, 特定領域「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」公開シンポジウム, 8 (1999).
 - 10) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶を利用した光集積技術」, 光産業技術振興協会 OEIC・光インターコネクション技術懇談会, 4 (1999). *
 - 11) 馬場俊彦, 「半導体フォトニック結晶発光素子と光波回路」, 光産業技術振興協会第2回「フォトニック結晶の進展と産業応用の可能性」フォーラム, 2-2 (1999). *
 - 12) 馬場俊彦, 深谷尚志, 米倉淳, 「フォトニック結晶光波回路」, 電子情報通信学会光集積エレクトロニクス研究会, OPE99-1, 1-6 (1999). *
 - 13) 馬場俊彦, 「半導体フォトニック結晶の動向と応用」, 電子情報通信学会集積光デバイス技術研究会, R-3 (1999). *
 - 14) 馬場俊彦, 「極微半導体プロセスとフォトニック結晶」, 第30回東工大精研シンポジウム「極微半導体プロセスと次世代光電子デバイス」, 5 (1999).
 - 15) 馬場俊彦, 「半導体フォトニック結晶とドライエッチング技術」, 第20回サムコ薄膜技術セミナー, 3 (1999). *
 - 16) 馬場俊彦, 「半導体フォトニック結晶の現状と将来」, 日本学術振興会「半導体の加工と応用」研究会, 2 (1999). *
 - 17) 馬場俊彦, 「半導体2次元フォトニック結晶を利用する光素子」, 特定領域「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第2回公開シンポジウム, 1-1 (1999).
 - 18) 井下京治, 馬場俊彦, 「GaInAsP 円柱型2次元フォトニック結晶LEDの検討」, 特定領域「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第2回公開シンポジウム, 1-2 (1999).
 - 19) 深谷尚志, 馬場俊彦, 「曲がりをもつフォトニック結晶光導波路の製作と評価」, 特定領域「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第2回公

- 開シンポジウム, 1-3 (1999).
- 20) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶光素子」, 日本液晶学会「液晶フォトニクス・光デバイス研究フォーラム」, 1 (1999). *
 - 21) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶を用いた導波路製作」, 日本光学会「光導波路と光通信ー基礎・応用・展望ー」研究会, 8 (1999). *
 - 22) 馬場俊彦, 「微小フォトニクスの世界」, レーザー学会「若手技術者と学生のためのレーザー応用」セミナー, 2 (2000). *
 - 23) 馬場俊彦, 野田進, 小坂英男, 「フォトニック結晶技術ロードマップ」, 応用物理学会応用電子物性研究会, 7 (2000). *
 - 24) 馬場俊彦, 「2次元フォトニック結晶レーザと光導波路の作製」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第3回公開シンポジウム, I-4 (2000).
 - 25) 馬場俊彦, 井下京治, 深谷尚志, 「フォトニック結晶スラブを利用する光素子」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第4回公開シンポジウム (2000).
 - 26) 馬場俊彦, 井下京治, 深谷尚志, 「フォトニック結晶を利用する様々な素子の可能性」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第4回公開シンポジウム, (2000).
 - 27) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶とナノフォトニクス」, 精密工学会超精密加工専門研究会「フォトニック結晶特集」, 2 (2000).
 - 28) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶と微小フォトニクスの世界」, 日本光学会第27回冬期講習会, 2-1 (2001).
 - 29) 馬場俊彦, 大崎大輔, 中村公紀, 「フォトニック結晶の透過帯を利用する光素子」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム, 振興調整費研究「3次元フォトニック結晶作製, 解析法, デバイス展開の総合研究」合同研究会, 2-1 (2001).
 - 30) 平山秀樹, 青木画奈, 青柳克信, 宮崎英樹, 新谷紀雄, 井下京治, 馬場俊彦, 「マイクロマニピュレーション法による3次元フォトニック結晶の作製」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム, 振興調整費研究「3次元フォトニック結晶作製, 解析法, デバイス展開の総合研究」合同研究会, 3-5 (2001).
 - 31) 坂井篤, 原剛, 馬場俊彦, 「SOI 基板上矩形チャネル光導波路の伝搬特性と急激曲げ特性」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム, 振興調整費研究「3次元フォトニック結晶作製, 解析法, デバイス展開の総合研究」合同研究会, 7-3 (2001).
 - 32) 富士田誠之, 牛込礼生奈, 馬場俊彦, 「マイクロディスクレーザの低しきい値発振と自然放出係数」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第5回公開シンポジウム, 振興調整費研究「3次元フォトニック結晶作製, 解析法, デバイス展開の総合研究」合同研究会, 7-4 (2001).
 - 33) 馬場俊彦, 「フォトニックレーザ」, 光産業技術振興協会光材料・応用技術研究会, 2 (2001). *

- 34) 馬場俊彦, 富士田誠之, 坂井篤, 深谷尚志, 市川弘之, 茂木歩, 「ディスク型光集積素子」, 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会 101, 92/OPE(2001)-1, 1-6 (2001). *
- 35) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶の展開」, オプトメカトロニクス協会フォトニックテクノロジーシンポジウム, 6 (2001). *
- 36) 馬場俊彦, 岩井剛, 茂木歩, 「フォトニック結晶中の光伝搬について」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第6回公開シンポジウム, 5 (2001).
- 37) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶と関連技術」, 日本学術振興会光エレクトロニクス第130委員会, 6 (2001). *
- 38) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶と近接場技術」, 光産業技術振興協会ナノフォトニクス懇談会, 5 (2001). *
- 39) T. Baba, A. Motegi and T. Iwai, 「Waveguide in two-dimensional photonic crystal slab and its optical property」, 戦略的基礎研究「電子・光子等の機能制御」第二回公開シンポジウム (2001).
- 40) 馬場俊彦, 「フォトニック・ナノ構造」, よこはま大学ベンチャークラブ最先端技術セミナー, 4 (2001).
- 41) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶中の光伝搬」, 応用物理学会関西支部ナノフォトニクスセミナー, 2 (2001). *
- 42) 馬場俊彦, 「2次元フォトニック結晶光導波路の伝播特性」, 戦略的基礎研究 CREST 合同シンポジウム「光子機能制御研究のフロンティア」, 2-6 (2001). *
- 43) 馬場俊彦, 「高精度リソグラフィ技術を用いたフォトニックナノ構造デバイス」, 日本工業技術振興協会次世代リソグラフィ技術研究会, 3 (2001). *
- 44) 馬場俊彦, 「半導体2次元フォトニック結晶の作製とレーザー作用 --- 半導体をフォトニック結晶をベースとする様々な光機能素子の研究」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第7回公開シンポジウム, 振興調整費研究「3次元フォトニック結晶作製, 解析法, デバイス展開の総合研究」合同研究会, 4-1 (2002).
- 45) 馬場俊彦, 茂木歩, 岩井剛, 深谷尚志, 渡辺嘉崇, 坂井篤, 「フォトニック結晶スラブに形成する線欠陥光導波路」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第7回公開シンポジウム, 振興調整費研究「3次元フォトニック結晶作製, 解析法, デバイス展開の総合研究」合同研究会, 4-2 (2002).
- 46) 馬場俊彦, 岩井剛, 松本崇, 大崎大輔, 中村公紀, 「フォトニック結晶透過型光素子の解析」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第7回公開シンポジウム, 振興調整費研究「3次元フォトニック結晶作製, 解析法, デバイス展開の総合研究」合同研究会, 4-3 (2002).
- 47) 馬場俊彦, 井下京治, 市川弘之, 和泉哲郎, 「フォトニック結晶微小共振器とLED」, 特定領域研究「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」第7回公開シンポジウム, 振興調整費研究「3次元フォトニック結晶作製, 解析法, デバイス展開の総合研究」合同研究会, 4-4 (2002).

- 48) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶における各種光伝搬とデバイス応用」, 光産業技術振興協会フォトニック結晶シンポジウム「基礎基盤研究から産業応用へ」, 3 (2002). *
- 49) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶と光通信デバイスへの応用」, レーザ学会レーザエキスポ2002 特別セミナー, O-2 (2002). *
- 50) 松本崇, 馬場俊彦, 「フォトニック結晶スーパープリズムフィルタの分解能」, 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会 102, 88, 15-18 (OPE2002-13) (2002).
- 51) 馬場俊彦, 「光波シミュレーション---フォトニック結晶を例にして」, 微小光学特別セミナー, 5 (2002). *
- 52) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶とマイクロレーザ」, 神奈川科学技術アカデミーフォトニクス基礎と新展開セミナー, 3 (2002). *
- 53) 馬場俊彦, 井下京治, 茂木歩, 和泉哲郎, 「ICP エッチング技術とフォトニック結晶」, 応用電子物性研究会, 2 (2002). *
- 54) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶研究の現状と将来展望」, 特許庁技術研修セミナー, (2002). *
- 55) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶微小発光素子の開発」, 文部科学省世界最先端 IT 国家実現重点研究開発プロジェクト「光・電子デバイス 技術の開発」公開シンポジウム, (2003).

[4] 解説等

- 1) 馬場俊彦, 池田充貴, 神沢尚久, H. G. Blom, 「フォトニック結晶とその応用」, 応用物理 67, 9, 1041-1045 (1998).
- 2) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶による微小レーザと光回路」, 電子情報通信学会誌 81, 10, 1067-1069 (1998).
- 3) 馬場俊彦, 「微小半導体発光素子と周辺技術」, マイクロメカトロニクス 42, 4 (1998).
- 4) 馬場俊彦, 「未来を拓くフォトニック結晶」, 光産業技術振興協会オプトニュース, 112, 4, 50-53, (1999).
- 5) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶 --- 新しい光技術」, O plus E 21, 12, 1524-1531 (1999).
- 6) 野田進, 馬場俊彦, 小坂英男編集, 「フォトニック結晶ロードマップ --- 研究の現状と今後の展望」, 光産業技術振興協会, (2000).
- 7) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶材料」, Electronic Ceramics 13, 9, 19-24 (2000).
- 8) 馬場俊彦, 深谷尚志, 坂井篤, 「マイクロガイド」, O plus E 22, 10, 1300-1306 (2000).
- 9) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶材料と応用技術」, 電子情報通信学会誌 84, 3, 172-176 (2001).
- 10) 馬場俊彦, 「極限微小光素子の研究」, 真空ジャーナル 75, 34-35 (2001).
- 11) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶発光素子の現状」, オプトロニクス 20, 7, 192-196 (2001).
- 12) 馬場俊彦, 井下京治, 市川弘之, 「プラズマプロセスによる半導体フォト

- ニック結晶加工と表面処理」, 表面科学 **22**, 11, 710-714 (2001).
- 13) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶 --- 新しい光技術」, 超精密 **11**, 47-51 (2001).
 - 14) 馬場俊彦, 「「フォトニック結晶の最新トレンド」解説小特集によせて」, レーザー研究 **30**, 2, 58 (2002).
 - 15) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶の現状と将来」, 日経先端技術, **6**, 12-15 (2002).
 - 16) 馬場俊彦, 「オプトエレクトロニクス・光デバイス」, 光学 **31**, 5, 237-238 (2002).
 - 17) 馬場俊彦, 「フォトニック結晶のインパクト」, 光技術コンタクト, **40**, 8, 463-472 (2002).

[5] 単行本 (全て分担)

- 1) 馬場俊彦, 「面発光レーザと自然放出制御」, 面発光レーザの基礎と応用 (伊賀健一, 小山二三夫編. 共立出版, 1999) 159-179.
- 2) 馬場俊彦, 「自然放出制御光デバイス」, 量子工学ハンドブック (大津元一, 荒川泰彦編集), 朝倉書店, 508-534 (1999).
- 3) T. Baba and N. Fukaya, "Light propagation characteristics of defect waveguides in a photonic crystal slab" *Photonic Crystals and Light Localization* (M. Soukoulis, ed, Kluwer Academic, 2001) 105-116.
- 4) 馬場俊彦, 「総説: フォトニック結晶形半導体発光素子の概要」, 「フォトニック結晶点欠陥レーザ」, フォトニック結晶の基礎と光デバイスへの応用 (川上彰二郎編), 185-205 (2002).
- 5) 馬場俊彦, 「フォトニックバンド」, 「フォトニック結晶」, 入門ビジュアルサイエンス ナノテクのしくみ (高柳邦夫, 他編著), 実業出版 (2003).

[6] その他

6-1 マスコミ等に取り上げられた記事

- 2) 「注目されるフォトニック結晶」, 日経エレクトロニクス **730**, 57-63, 11月16日 (1998).
- 3) 「フォトニック結晶導波路の実現」, 日刊工業新聞, 3月30日 (1999).
- 4) 「特集フォトニック結晶」, 日刊工業新聞, 4月6日~9日 (1999).
- 5) 「馬場研究室とフォトニック結晶の研究」, Samco Now, 5月 (1999).
- 6) 「フォトニック結晶導波路の実現」, 化学工業日報, 5月24日 (1999).
- 7) 「丸文研究奨励賞受賞」, 日刊工業新聞, 2月28日 (2000).
- 8) 「ナノテク 光を自由に折り曲げたり, 閉じ込めたりできるフォトニック結晶」, Trigger, 日刊工業新聞社, (2001).
- 9) 「フォトニック結晶研究最前線」, 朝日新聞, 5月17日 (2001).
- 10) 「マイクロの「プラモ」作製に新手法, 次世代光通信用の結晶」, 朝日新聞, 1月13日 (2003).
- 11) 「高品質のフォトニック結晶」, 日経産業新聞, 1月14日 (2003).

6-2 受賞関係, 特筆すべき事項

- 3) Best Paper Award of Microoptics Conf. '99, N. Fukaya, J. Yonekura and T. Baba, "First successful fabrication and evaluation of 2-dimensional photonic crystal waveguides with bends," Makuhari, July 16, (1999).
- 4) 丸文研究奨励賞, 馬場俊彦, マイクロ構造光デバイスを基本とするフォトニック集積手法の開拓, 東京, 3月9日 (2000).
- 5) 日本未来科学館ナノテクノロジーコーナーで本研究室のフォトニック結晶導波路写真を展示, 東京, 9月以降 (2001~).

A-3 ア班

[1] 原著論文

- 1) H. Hirayama, T. Hamano and Y. Aoyagi, "Novel Spontaneous Emission Control in 3D-Photonic Bandgap Crystal Cavity," *Material Science & Engineering B*, **51**, 99-102 (1998).
- 2) H. Hirayama and Y. Aoyagi, "Analysis of Resonant Properties of Micro Ring Lasers Consisting of 2-Dimensional Photonic Bandgap Crystal," *RIKEN Review* 19, Focused on High Performance Computing in RIKEN 1997, (1998-10).
- 3) H. T. Miyazaki, Y. Tomizawa, S. Saito, T. Sato, N. Shinya, "Adhesion of micrometer-sized polymer particles under a scanning electron microscope," *J.appl.phys.*, **88** (6): 3330-3340 (2000)
- 4) H.T. Miyazaki, Y. Tomizawa, K. Koyano, T. Sato, N. Shinya, "Adhesion force measurement system for micro-objects in a scanning electron microscope," *Rev. Sci. Inst* **71** 3123-3131 (2000)
- 5) K. Ohtaka, Y. Suda, S. Nagano, T. Ueta, A. Imada, T. Koda, J. S. Bae K. Mizuno, S. Yano, and Y. Segawa, "Photonic Band Effects in a Two-dimensional Array of Dielectric Spheres in a Millimeter Wave Region," *Phys. Rev. B*, **61**, 5267 (2000)
- 6) H. T. Miyazaki, H. Miyazaki, K. Ohtaka and T. Sato, "Photonic Band in Two-dimensional Lattices of Micrometer-sized Spheres Mechanically Arranged under a Scanning electron Microscope," *J. Appl. Phys.*, **87**, 7152-7158 (2000)
- 7) S. Yano, Y. Segawa, J. S. Bae, K. Mizuno, H. Miyazaki, K. Ohtaka, and S. Yamaguchi, "Quantized states in single quantum well structure of photonic crystals," *Phys. Rev. B*, **63**, 153316-1-153316-4 (2001).
- 8) K. Aoki, H.T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya, and Y. Aoyagi, "Three-dimensional photonic crystals for optical wavelength assembled by micromanipulation," *Appl. Phys. Lett.*, **81**, 3122-3124 (2002).
- 9) K. Aoki, H. Hirayama and Y. Aoyagi, "A Novel Three-Dimensional Photonic Laser and Fabrication of Three-Dimensional Photonic Crystals," *RIKEN Review*, **33**, 24-27 (2001).
- 10) K. Aoki, H.T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, K. Sakoda. N.

Shinya, and Y. Aoyagi, "Microassembly of semiconductor three-dimensional photonic crystals" *Nature Materials*, **2**, 117-121, (2003).

[2] 国際学会(*招待講演)

- 1) S. Yano, Y. Segawa, J. S. Bae, K. Mizuno, H. Miyazaki, S. Yamaguchi, and K. Ohtaka, "Quantization of Photonic Bands in Quantum Well Structure made by Photonic Crystals," International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS), W4-10 (2000-3).
- 2) H. T. Miyazaki, Hiroshi Miyazaki, K. Miyano, and N. Shinya, "Bragg Diffraction in Photonic Crystals Mechanically Assembled from Micrometer-sized Spheres," International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS), T1-4, (2000-3).
- 3) K. Aoki, H. T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya, and Y. Aoyagi, "A Novel Fabrication Technique for Three-Dimensional Semiconductor Photonic Crystals", The 20th Electronic Materials Symposium (EMS20) (Nara, Japan 2001-6).
- 4) K. Aoki, H. T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya, and Y. Aoyagi, "Fabrication of Three-Dimensional Photonic Crystals by Micromanipulation Method," EuroConference on Electromagnetic Confinement, Electromagnetic Crystal Structures, (St. Andrews, UK, 2001-6).
- 5) Y. Segawa, S. Yano, J. S. Bae, K. Mizuno, H. Miyazaki, S. Yamaguchi, and K. Ohtaka, "Optical properties of quantum well structure of photonic crystals," Electromagnetic Crystal Structures (St. Andrews, UK, 2001-6).
- 6) K. Aoki, H. T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya, and Y. Aoyagi, "Fabrication of 3D Photonic Crystal from 2D Photonic Plates by Micromanipulation", The 4th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim 2001) (Makuhari, Japan, 2001-7).
- 7) K. Aoki, H.T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya, and Y. Aoyagi, "3D Photonic Crystals Fabricated by Micromanipulation Technique," 2002 MRS Spring Meeting (San Francisco, USA, 2002-4).
- 8) K. Aoki, H.T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya, and Y. Aoyagi, "3D Photonic Crystals Fabricated by Micromanipulation Technique," 2002 MRS Spring Meeting (San Francisco, USA, 2002-4).
- 9) K. Aoki, H.T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya, and Y. Aoyagi, "3D Photonic Crystals Fabricated by Micromanipulation Technique," 2002 MRS Spring Meeting (San Francisco, USA, 2002-4).
- 10) K. Yamamoto and Y. Segawa, "Smith-Purcell radiation involving a photonic crystal –experiment using an accelerator," The 22nd Werner Brandt Workshop, Facultes Universitaire Notre-Dame de La Paix (Namur, Belgium, 2002-6).*
- 11) K. Aoki, H.T. Miyazaki, H. Hirayama, K. Inoshita, T. Baba, N. Shinya, and Y. Aoyagi, "High-speed assembly technology for three-dimensional photonic crystals," PECS IV, 28-31 (Los Angels, USA, 2002-10).

[3] 国内発表(*招待講演)

- 1) 矢野聡, 瀬川勇三郎, J. S. Bae, 水野浩司, 大高一雄, 「誘電体微小球によ

- る三次元光結晶の作製」, 日本物理学会第 53 回年会, 講演概要集第二分冊 181, 30 - YH - 3. (1998. 3).
- 2) 平山秀樹, 北海道大学電子科学研究所公開シンポジウム, 「フォトニック結晶による輻射場の制御」, 「2 次元フォトニック共振器からの自然放出光放射特性—欠陥領域の形状依存性—」北海道大学, 百年記念館, (1998. 3)
 - 3) 平山秀樹, 青柳克信, 「フォトニック結晶を共振器として用いた面発光レーザの提案」共同プロジェクト研究第一回研究会, 東北大学電気通信研究所, 「フォトニック結晶を共振器として用いた面発光レーザの提案」(1998. 6)
 - 4) 矢野聡, 瀬川勇三郎, J.S.Bae, 水野浩司, 大高一雄, 共同プロジェクト研究「3 次元周期ナノ構造とデバイス応用の研究」, 第一回研究会, 東北大学電気通信研究所, 「ミリ波領域における二次元および三次元光結晶」(1998, 6).
 - 5) 平山秀樹, 青柳克信, 「フォトニック結晶を用いた自然放出光制御」理研シンポジウム, 第 7 回「極限微小構造の物理と制御—材料工学から見た量子コンピューティングの可能性—」理研大河内記念ホール, (1998. 7.)
 - 6) 平山秀樹, 青柳克信, 「フォトニック結晶を用いた半導体レーザの将来展望」, 1998 秋電子情報通信学会シンポジウム SC-5, 新しい光材料: フォトニクス結晶の現状と将来, SC-5-7, 山梨大学, (1998. 9). *
 - 7) 平山秀樹, 青柳克信文部省科研費, 「2 次元フォトニック結晶共振器の自然放出光の放射特性の解析」特定領域研究(B), 第 1 回公開シンポジウム「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」, 富士見ハイ, (1999. 2).
 - 8) 平山秀樹, 青柳克信, 文部省科研費, 特定領域研究(B), 第 2 回公開シンポジウム「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」, 北海道大学, (1999. 7).
 - 9) 矢野聡, 瀬川勇三郎, J.S.Bae, 水野浩司, 宮崎博司, 大高一雄, 「選択結晶成長を用いた 2 次元フォトニック結晶作製」文部省科研費, 特定領域研究(B), 第 2 回公開シンポジウム「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」, 北海道大学, (1999. 7).
 - 10) 矢野聡, 瀬川勇三郎, J. S. Bae, 水野浩司, 大高一雄, 「ミリ波領域における光結晶量子井戸」, 日本物理学会 1999 年秋の分科会 講演概要集第二分冊 101, 24p - YB - 2 (1999. 9).
 - 11) 平山秀樹, 青柳克信, 「光位相制御領域を有するフォトニック結晶の作製とそのデバイスへの応用」文部省科研費, 特定領域研究(B), 第 3 回公開シンポジウム「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」, KKR 宮ノ下, (2000. 1).
 - 12) 平山秀樹, 青柳克信, 「OMVPE 選択成長を用いた GaN マイクロピラーの作製」 2000 春応用物理学会, 30a-YQ-3, 青山学院大学, (2000. 3).
 - 13) 宮崎英樹, 平山秀樹, 青木画奈, 新谷紀雄, 青柳克信, 「2 次元結晶プレート積層による 3 次元フォトニック結晶の作製」文部省科研費, 特定領域研究(B), 第 4 回公開シンポジウム「フォトニック結晶の開発と輻射

- 場の制御」, 定山溪ビューホテル, 札幌, (2000. 7).
- 14) 平山秀樹, 青木画奈, 青柳克信, 「3次元積層のための2次元フォトニック結晶プレートの作製」 文部省科研費, 特定領域研究(B), 第4回公開シンポジウム「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」 定山溪ビューホテル, 札幌, (2000. 7).
 - 15) 宮崎英樹, 平山秀樹, 青木画奈, 新谷紀雄, 青柳克信, 「2次元結晶プレートの積層による3次元フォトニック結晶の作製」2000秋応用物理学会, 5a-Q-7, 北海道工業大学, (2000. 9).
 - 16) 青木画, 平山秀樹, 青柳克信, 「エアーブリッジ型2次元InP/InGaAsフォトニック結晶の作製」2000秋応用物理学会, 5a-Q-6, 北海道工業大学, (2000. 9).
 - 17) 平山秀樹, 宮崎英樹, 青木画奈, 新谷紀雄, 青柳克信, 「2次元プレート積層による3次元フォトニック結晶の作製」, 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会, シンポジウム, 「フォトニクス結晶開発の最前線」, SC-4-9, 名古屋工業大学, (2000. 9).*
 - 18) 平山秀樹, 宮崎英樹, 青木画奈, 宮下京治, 馬場俊彦, 新谷紀雄, 青柳克信, 「マイクロマニピュレーション法を用いた3次元フォトニック結晶の作製」 文部省科研費, 特定領域研究(B), 第5回公開シンポジウム「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」, 主婦会館(東京), (2001. 1).
 - 19) 青木画奈, 宮崎英樹, 平山秀樹, 井下京治, 馬場俊彦, 新谷紀雄, 青柳克信, 「マイクロマニピュレーション法による3次元フォトニック結晶の作製」2001春応用物理学会, 明治大学駿河台校舎, (2001. 3).
 - 20) 青木画奈, 宮崎英樹, 平山秀樹, 井下京治, 馬場俊彦, 新谷紀雄, 青柳克信, 「マイクロマニピュレーションを用いた3次元フォトニック結晶の作製」 文部省科研費, 特定領域研究(B), 第6回公開シンポジウム「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」, 長富士見, (2001. 7).
 - 21) 青木画奈, 宮崎英樹, 平山秀樹, 井下京治, 馬場俊彦, 新谷紀雄, 青柳克信, 「3次元InPフォトニック結晶の光学特性および大型結晶作製の試み」2001秋応用物理学会, 14p-ZK-4, 愛知工業大学, (2001. 9).
 - 22) 平山秀樹, 青木画奈, 宮崎英樹, 木下敦寛, 青柳克信, 「半導体フォトニクス(半導体レーザの効率と紫外短波長化の追求)」, 応用物理学会関西支部セミナー, 「半導体の物性評価とデバイス応用」, 大阪大学ベンチャービジネスラボラトリー, (2001. 12).*
 - 23) 平山秀樹, 青木画奈, 宮崎英樹, 井下京治, 馬場俊彦, 新谷紀雄, 青柳克信, 「光位相制御領域を有するフォトニック結晶の作製とそのデバイス応用」 文部科学省科研費, 特定領域研究(B), 第7回公開シンポジウム「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」, コープイン京都, (2002. 1).
 - 24) 青木画奈, 宮崎英樹, 平山秀樹, 井下京治, 馬場俊彦, 新谷紀雄, 青柳克信, 「マイクロマニピュレーションを用いた3次元フォトニック結晶の作製とその工学特性」 文部科学省科研費, 特定領域研究(B), 第7回公開シンポジウム「フォトニック結晶の開発と輻射場の制御」, コープイン京都, (2002. 1).

- 25) 榑原竜一, 山本貴一, 矢野聡, 瀬川勇三郎, 柴田行男, 伊師君弘, 鳶谷勉, 大阪俊明, 原高志, 近藤泰洋, 宮寄博司, 日出富士雄, 松山正佳, 山口修一, 大高一雄, 「高エネルギー電子線とフォトニック結晶の相互作用に関する実験」, 日本物理学会第 57 回年次大会, 草津, (2002. 3).
- 26) 青木画奈, 宮崎英樹, 平山秀樹, 井下京治, 馬場俊彦, 新谷紀雄, 青柳克信, 「3 次元フォトニック結晶の作製とその光学特性」 2002 春応用物理学会, 28a-ZF-1, 東海大学, (2002. 3).

[4] 解説等

「フォトニック結晶技術とその応用」, シーエムシー出版, “マイクロマニピュレーションを用いたフォトニック結晶の作製”, 平山秀樹, 青木画奈, 宮崎英樹, 157-168, 2001.

[5] 単行本 (単著, 共著の別)

なし

[6] その他

6-1 受賞関係、特記すべき事項

新聞発表

- 1) 朝日新聞: 平成 15 年 1 月 13 日 ミクロの「プラモデル」——次世代光通信用結晶を立体作製——
- 2) 毎日新聞: 平成 15 年 1 月 13 日 「情報処理速度高める光結晶の作製簡略化」

特許出願

- 1) 青木画奈, 平山秀樹, 青柳克信, 宮崎英樹: 「3 次元フォトニック結晶およびその製法ならびにプローブ」, 出願番号: 2001-228287

6-2 各班の連携と共同研究の成果

- 1) 欠陥を含む 3 次元積層フォトニック結晶内に発生した局在準位モードの電磁界分布の FDTD 法を用いた計算。(迫田先生との連携)
欠陥を有するウッドパイル構造 3 次元フォトニック結晶の透過率測定結果と FDTD 法を用いた解析結果が、高い精度で一致した。
- 2) 3 次元フォトニック結晶作製における半導体の ICP ドライエッチング (馬場班との連携)
- 3) ミリ波フォトニック結晶の理論解析 (大高班との連携)
- 4) フォトニック結晶量子井戸の光学的性質に関する研究(大高版図の連携)
バンドギャップの異なるフォトニック結晶を用い量子井戸構造を製作し, その透過スペクトルと内部電界強度を測定した. 得られた結果は大高らの計算結果とよく一致し, 量子構造の形成と特徴が示された.
- 5) フォトニック結晶と光速荷電粒子との相互作用に関する研究(大高班との連携)

ライナックによる高速電子線を用い、フォトニック結晶からの発光を観測した。観測方向に強く依存する特徴的な発光がミリは領域で観測され、通常の回折格子からの発光(スミス・パーセル放射)との差異が示された。得られたスペクトルは大高らの計算とほぼ対応している。

その他

● Nature Materials 誌の表紙に掲載：

Nature Materials, Vol.2 No.2 February 2003 (Microassembly of 3D photonic crystals)

A-3 イ班

[1] 原著論文 (M. Wada, M. Wada Takeda, 武田三男もしくは和田三男で発表)

- 1) N. Kawai, M. Wada Takeda, and K. Sakoda, "A Numerical Calculation of Defect Modes: Pseudo-Triangular Lattice with Square Rods," *Jpn. J. Appl. Phys.* **37**, 8, 4644-4647 (1998).
- 2) Y. Miyoshi, M. Wada Takeda, N. Kawai, et. al., "The photonic line defect modes in the square air-rod pseudo-triangular lattice revealed by far-infrared measurements," *Proceeding of 1999 IEEE Seventh International Conference on Terahertz Electronics (THz'99)*, 36 (Nara, Japan, 1999).
- 3) T. Aoki, M. Wada Takeda, J. W. Haus et.al, "The photonic dispersion relation of the pseudo-simple cubic lattice revealed by THz time domain measurements," *Proceeding of 1999 IEEE Seventh International Conference on Terahertz Electronics (THz'99)*, 37, (Nara, Japan, 1999).
- 4) H. Kitahara, Y. Miyoshi, M. Suenaga, M. Wada Takeda, J. W. Haus, Zhenyu Yuan, T. Iwamoto, K. Shirawachi, S. Nishizawa, N. Kawai, K. Sakoda and K. Inoue, "Dispersion Relation of THz Electromagnetic Wave in Photonic Crystals," *Abstract of the 7th International Workshop on Femtosecond Technology (FST2000)*, 180 (Tsukuba, Japan, 2000-6).
- 5) T. Aoki, and M. Wada Takeda, J. W. Haus and Zhenyu Yuan, M. Tani, K. Sakai, N. Kawai, and K. Inoue, "The Photonic Band Structure of the Pseudo-Simple-Cubic Lattice Revealed by THz Time Domain Spectroscopy," *Technical digest of PECSII*, W4-27 (Sendai, Japan, 2000).
- 6) M. Wada Takeda, Y. Miyoshi, H. Kitahara, M. Suenaga, J. W. Haus, Z. Yuan, T. Iwamoto, K. Shirawachi, S. Nishizawa, N. Kawai, K. Sakoda and K. Inoue, "THz Spectroscopy of Photonic Band Structures" *Technical digest of PECSII*, W4-26 (Sendai, Japan, 2000).
- 7) J. W. Haus, Z. Yuan, T. Aoki, M. Wada T, Masahiko Tani, K. Sakai, N. Kawai, and K. Inoue, "THz spectroscopy of a pseudo-simple cubic photonic band structure," *Technical digest of QELS/CLEO2000* (San Francisco, USA, 2000).
- 8) T. Aoki and M. Wada Takeda, J. W. Haus and Z. Yuan, M. Tani and K. Sakai, N. Kawai and K. Inoue, "The Photonic Band Structure of the Pseudo-Simple-Cubic Lattice Revealed by THz Time Domain

- Spectroscopy, "Technical digest of PECSII, W4-27 (Sendai, JAPAN, 2000).
- 9) M. Wada Takeda, Y. Miyoshi, H. Kitahara, M. Suenaga, J. W. Haus, Z. Yuan, T. Iwamoto, K. Shirawachi, S. Nishizawa, N. Kawai, K. Sakoda and K. Inoue, "THz Spectroscopy of Photonic Band Structures, "Technical digest of PECSII, W4-26 (Sendai, JAPAN, 2000).
 - 10) M. Tani, Ping Gu, K. Sakai, H. Kitahara, M. Suenaga, and M. Wada Takeda, "THz wave generation by difference frequency mixing in photonic crystal cavity, "Technical digest of 2000 IEEE 8th International Conference on Terahertz Electronics (THz2000), 30 (Darmstadt, Germany, 2000).
 - 11) J. W. Haus, Z. Yuan, T. Aoki, M. Wada Takeda, M. Tani, K. Sakai, N. Kawai and K. Inoue, "THz spectroscopy of a pseudo-simple cubic photonic band structure," Technical digest of QELS/CLEO2000 (San Francisco, USA, 2000).
 - 12) M. Tani, P. Gu, K. Sakai, M. Suenaga, H. Kondo, H. Kitahara, and M. Wada Takeda, "Generation of coherent THz radiation by photomixing in photonic crystal cavity," Technical digest of EURESCO Conference, Electromagnetic Crystal Structures (PECSIII) (St. Andrews, UK, 2001).
 - 13) M. Tani, P. Gu, K. Sakai, M. Suenaga, H. Kondo, H. Kitahara, and M. Wada Takeda, "Coherent THz wave generation by photomixing in photonic crystal cavity, "Technical digest of the 4th Pacific Rim Conference on Laser and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim 2001) (Makuhari Japan, 2001).
 - 14) M. Iida, M. Tani, K. Sakai, M. Watanabe, S. Katayama, H. Kondo, and M. Wada Takeda, "FDTD simulation of terahertz time-domain spectroscopy of impurity modes in three-dimensional photonic crystals," Abstract of International Quantum Electronics Conference 2002 (IQEC2002) (Moscow, Russia, 2002).
 - 15) T. Aoki, M. Wada Takeda, J. W. Haus, Zhenyu Yuan, M. Tani, K. Sakai, N. Kawai, and K. Inoue, "Terahertz Time-Domain Study of a Pseudo-Simple Cubic Photonic Lattice," *Phys. Rev. B*, **64**, 045106 (2001).
 - 16) H. Kitahara, N. Tsumura, H. Kondo, M. Wada Takeda, J. W. Haus, Z. Yuan, N. Kawai, K. Sakoda and K. Inoue. "Terahertz Wave Dispersion in Two-Dimensional Photonic Crystals," *Phys. Rev. B*, **64**, 045202 (2001).
 - 17) S. Kirihara, Y. Miyamoto, K. Takenaga, M. Wada Takeda, and K. Kajiyama, "Fabrication of Electromagnetic Crystals with a Complete Diamond Structure by Stereolithography," *Solid State Commun.*, **121**, 435 (2002).
 - 18) S. Kirihara, M. Wada Takeda, K. Sakoda, and Y. Miyamoto. "Control of Microwave Emission from electromagnetic crystals by lattice modulations," *Solid State Commun.*, **124**, 135 (2002).
 - 19) H. Kitahara, T. Kawaguchi, J. Miyashita, and M. Wada Takeda. "Impurity Mode in Microstrip Line Photonic Crystal in Millimeter Wave Region," *J. Phys. Soc. Jpn.*, **72**, Vol.3 (2003).

[2] 国際学会(*招待講演)

- 1) Y. Miyoshi, M. Wada Takeda, N. Kawai, et. al., "The photonic line defect modes in the square air-rod pseudo-triangular lattice revealed by far-infrared measurements," *Proceeding of 1999 IEEE Seventh International Conference on Terahertz Electronics (THz'99)*, 36 (Nara, JAPAN, 1999).

- 2) T. Aoki, M. Wada Takeda, J. W. Haus et.al, "The photonic dispersion relation of the pseudo-simple cubic lattice revealed by THz time domain measurements," Proceeding of 1999 IEEE Seventh International Conference on Terahertz Electronics (THz'99), 37 (Nara, JAPAN, 1999).
- 3) H. Kitahara, Y. Miyoshi, M. Suenaga, M. Wada Takeda, J. W. Haus, Z. Yuan, T. Iwamoto, K. Shirawachi, S. Nishizawa, N. Kawai, K. Sakoda and K. Inoue, "Dispersion Relation of THz Electromagnetic Wave in Photonic Crystals," Abstract of the 7th International Workshop on Femtosecond Technology (FST2000), 180 (Tsukuba, Japan, 2000-6).
- 4) T. Aoki and M. Wada Takeda, J. W. Haus, Z. Yuan, M. Tani, K. Sakai, N. Kawai and K. Inoue, "The Photonic Band Structure of the Pseudo-Simple-Cubic Lattice Revealed by THz Time Domain Spectroscopy," Technical digest of PECSII, W4-27 (Sendai, JAPAN, 2000).
- 5) M. Wada Takeda, Y. Miyoshi, H. Kitahara, M. Suenaga, J. W. Haus, Z. Yuan, T. Iwamoto, K. Shirawachi, S. Nishizawa, N. Kawai, K. Sakoda, and K. Inoue, "THz Spectroscopy of Photonic Band Structures," Technical digest of PECSII, W4-26 (Sendai, JAPAN, 2000).
- 6) J. W. Haus, Z. Yuan, T. Aoki, M. Wada Takeda, M. Tani, K. Sakai, N. Kawai and K. Inoue, "THz spectroscopy of a pseudo-simple cubic photonic band structure," Technical digest of QELS/CLEO2000 (San Francisco, USA, 2000).*
- 7) T. Aoki and M. Wada Takeda, J. W. Haus and Z. Yuan M. Tani and K. Sakai, N. Kawai, and K. Inoue, "The Photonic Band Structure of the Pseudo-Simple-Cubic Lattice Revealed by THz Time Domain Spectroscopy," Technical digest of PECSII, W4-27 (Sendai, JAPAN, 2000).
- 8) M. Wada Takeda, Y. Miyoshi, H. Kitahara, M. Suenaga, J. W. Haus, Zhenyu Yuan, T. Iwamoto, K. Shirawachi, S. Nishizawa, N. Kawai, K. Sakoda, and K. Inoue, "THz Spectroscopy of Photonic Band Structures," Technical digest of PECSII, W4-26 (Sendai, JAPAN. 2000).
- 9) M. Tani, Ping Gu, K. Sakai, H. Kitahara, M. Suenaga, and M. Wada Takeda, "THz wave generation by difference frequency mixing in photonic crystal cavity," Technical digest of 2000 IEEE 8th International Conference on Terahertz Electronics (THz2000), 30 (Darmstadt Germany, 2000).
- 10) M. Tani, P. Gu, K. Sakai, M. Suenaga, H. Kondo, H. Kitahara, and M. Wada Takeda, "Generation of coherent THz radiation by photomixing in photonic crystal cavity," Technical digest of EURESCO Conference, Electromagnetic Crystal Structures (PECSIII) (St. Andrews, UK, 2001).
- 11) M. Tani, P Gu, K. Sakai, M. Suenaga, H. Kondo, H. Kitahara, and M. Wada Takeda, "Coherent THz wave generation by photomixing in photonic crystal cavity," Technical digest of the 4th Pacific Rim Conference on Laser and Electro-Optics (CLEO/Pacific Rim 2001) (Makuhari Japan, 2001).
- 12) M. Iida, M. Tani, K. Sakai, M. Watanabe, S. Katayama, H. Kondo, and M. Wada Takeda, "FDTD simulation of terahertz time-domain spectroscopy of impurity modes in three-dimensional photonic crystals," Abstract of International Quantum Electronics Conference 2002 (IQEC2002) (Moscow, Russia, 2002).

[3] 国内発表(*招待講演)

(a) 学会

- 1) 青木健光, 三好佳伸, 和田三男, 顧萍, 谷正彦, 阪井清美, 「フォトニック結晶における THz 光混合発振」日本物理学会 1998 年年会, 那覇. 日本物理学会講演概要集, 28a-YE-3, Vol.53-2, No.2, 263 (1998).
- 2) 和田三男, 西澤誠治, 「遠赤外分光による誘電体研究」, 日本物理学会 1999 年秋の分科会, 盛岡, 誘電体シンポジウム, 26pK-6, 日本物理学会講演概要集, Vol.54-2, No.2, 911 (1999).*
- 3) 和田三男, 三好佳伸, 北原英明, 末永雅則, J. W. Haus, Z. Yuan, 顧萍, 谷正彦, 阪井清美, 河合紀子, 迫田和彰, 井上久遠, 「フォトニック結晶中における THz 電磁波の分散関係」日本物理学会 2000 年春の分科会, 吹田市 (関西大学), 日本物理学会講演概要集, 22-pN-4, Vol.55-1, No.4, 621 (2000).*
- 4) 谷正彦, 顧萍, 阪井清美, 北原英明, 末永雅則, 和田三男, 「フォトニック結晶共振器を用いた差周波混合テラヘルツ電磁波発生」第 61 回応用物理学会学術講演会, 北海道工業大学, 予稿集, 4a-L-4, No.3, 955 (2000).*
- 5) 武田三男, 「テラヘルツ領域におけるフォトニック結晶の研究」, 日本電子情報通信学 2000 年ソサイエティ大会 (シンポジウム), SC-4-12, 名古屋市, 名古屋工業大学 (2000).*
- 6) 谷正彦, 顧萍, 阪井清美, 北原英明, 末永雅則, 和田三男, 「差周波光混合 THz 電磁波発生によるフォトニックバンドギャップ内不純物モードの励起」日本物理学会第 55 回年次大会, 新潟市 (新潟大学), 日本物理学会講演概要集, 24pRA-10, Vol.55-2, No.4, 630 (2000).
- 7) 末永雅則, 顧萍, 近藤裕孝, 北原英明, 武田三男, 谷正彦, 阪井清美, 「CW 差周波光混合によるフォトニック結晶中の局在モードの励起」, 日本物理学会講演概要集, 56-1, 27pYS-7, 651, 中央大 (2001).
- 8) 武田三男, 石橋大輔, 津村直希, 宮井英次, 河井紀子, 迫田和彰, 「擬差三角格子における線欠陥モードの波数ベクトル依存性」, 日本物理学会講演概要集, 56-2, 18pRF-9, 607, 徳島文理大 (2001).
- 9) 近藤裕孝, 末永雅則, 武田三男, 谷正彦, 顧萍, 阪井清美, 「擬単純立方格子における不純物モードの励起」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 徳島日本物理学会講演概要集, 徳島文理大, 56-2, 18pRF-8, 607, (2001).
- 10) 武田三男, 「テラヘルツ電磁波の発生と分光」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 領域 1&5 合同シンポジウム, 徳島, 日本物理学会講演概要集, 56-2, 19pTB-3, p625, 徳島文理大(2001).*
- 11) 飯田勝, 谷正彦, 阪井清美, 渡辺昌良, 近藤裕孝, 武田三男, 「3 次元フォトニック結晶における不純物モードの FDTD 法による解析」, 日本応用物理学会講演概要集, 28a-ZF-10, 1030, 東海大(2002).
- 12) 近藤裕孝, 石橋大輔, 北原英明, 武田三男, 谷正彦, 飯田勝, 阪井清美, 顧萍, 「フォトニック結晶共振器によるパルステラヘルツ電磁波の発生」, 日本物理学会講演概要集, 57-1, 24pWG-3, p.666, 立命館大 (2002).

- 13) 川口毅, 北原英明, 武田三男, 宮下純一, 島田良子, 国府田隆夫, 「二重周期フォトニック結晶構造ストリップラインの電磁波分散特性」日本物理学会講演概要集, 57-1, 24aWG-11, p.659, 立命館大 (2002).
- 14) 桐原聡秀, 宮本欽生, 武田三男, 梶山健二, 「ダイヤモンド構造を有するセラミックス/高分子系フォトニック結晶の誘電率制御」, 日本セラミックス協会 2002 年年会, 関西大学 (2002).
- 15) 桐原聡秀, 宮本欽生, 武田三男, 梶山健二, 「ダイヤモンド型フォトニック結晶における格子誘電率制御」, 粉末粉体冶金協会平成 14 年度春期大会 (89), 早稲田大学 (2002).
- 16) 加藤誠司, 北原英明, 武田三男, 飯田勝, 谷正彦, 阪井清美, 渡辺昌良, 片山信一, 「差周波混合を用いた擬単純立方格子共振器からの cw-THz 波発振」日本物理学会 2002 年秋の分科会, 中部大学 (2002) .
- 17) 石橋大輔, 江口友一, 近藤裕孝, 武田三男, 宮井英二, 迫田和彰, 「二次元正方格子の線欠陥モードの波数ベクトル依存性」日本物理学会 2002 年秋の分科会, 中部大学 (2002) .
- 18) 北原英明, 加藤誠司, 武田三男, 「透過スペクトルにおよぼす誘電率虚数成分の寄与」日本物理学会 2002 年秋の分科会, 中部大学 (2002) .
- 19) 飯田勝, 谷正彦, 加藤誠司, 末永雅則, 北原英明, 武田三男, 片山信一, 阪井清美, 渡辺昌良, 「3 次元擬単純立方フォトニック結晶における面欠陥モードの非対称な局在」日本物理学会 2002 年秋の分科会, 中部大学 (2002) .
- 20) 飯田勝, 谷正彦, 加藤誠司, 北原英明, 武田三男, 片山信一, 阪井清美, 渡辺昌良, 「3 次元フォトニック結晶面欠陥モードの空間的分離」日本応用物理学会 2002 年秋の講演会 (2002) .
- 21) 飯田勝, 加藤誠司^A, 北原英明^A, 武田三男^A, 谷正彦^B, 阪井清美, 渡辺昌良, 片山信一「面欠陥モードの局在性におよぼす表面形状効果」日本物理学会講演概要集 58-2, 28aZH-2 (2003).
- 22) 飯田勝, 鶴澤佳徳, 武田三男, 阪井清美, 渡辺昌良, 「3 次元金属—誘電体フォトニック結晶の設計」日本応用物理学会 2003 年春の講演会 (2003) .

(b) 研究会, シンポジウム

- 1) 武田三男, 青木健光, 三好佳伸, 谷正彦, 顧 萍, 「フォトニック結晶共振器を用いた高効率光混合サブミリ波発振器の開発」文部省科研費特定領域研究「フォトニック結晶」第 1 回公開シンポジウム, 伊豆長岡, 2/1-2 (1998).
- 2) 武田三男, 青木健光, 三好佳伸, 谷正彦, 顧 萍, 「フォトニック結晶共振器を用いた高効率光混合サブミリ波発振器の開発」文部省科研費特定領域研究「フォトニック結晶」第 2 回公開シンポジウム, 札幌, 7/29-30 (1999).
- 3) 武田三男, 谷正彦, 顧 萍, 「フォトニック結晶共振器を用いた高効率光混合サブミリ波発振器の開発」文部省科研費特定領域研究「フォトニッ

- ク結晶」第3回公開シンポジウム, 箱根, 1/28-29 (2000).
- 4) 武田三男, 谷正彦, 顧 萍, 「フォトニック結晶共振器を用いた高効率光混合サブミリ波発振器の開発」文部省科研費特定領域研究「フォトニック結晶」第4回公開シンポジウム, 札幌, 7/28-29 (2000).
 - 5) 顧 萍, 谷正彦, 阪井清美, 末永雅則, 近藤裕孝, 北原英明, 津村直希, 武田三男, 「フォトニック結晶共振器を用いた高効率光混合サブミリ波発振器の開発」文部省科研費特定領域研究「フォトニック結晶」第5回公開シンポジウム, 東京, 1/31-2/1 (2001).
 - 6) 武田三男, 谷正彦 「フォトニック結晶共振器を用いた高効率光混合サブミリ波発振器の開発」文部省科研費特定領域研究「フォトニック結晶」第6回公開シンポジウム, 富士見, 7/30-31 (2001).
 - 7) 飯田勝, 谷正彦, 武田三男 「FDTD 法による不純物モードの理論的解析」文部省科研費特定領域研究「フォトニック結晶」第7回公開シンポジウム, 京都, 1/24 (2002).
 - 8) 谷正彦, 飯田勝, 武田三男 「光混合によるコヒーレント THz 波発生」文部省科研費特定領域研究「フォトニック結晶」第7回公開シンポジウム, 京都, 1/24 (2002).
 - 9) 武田三男, 谷正彦 「フォトニック結晶共振器を用いた高効率光混合サブミリ波発振器の開発」文部省科研費特定領域研究「フォトニック結晶」第7回公開シンポジウム, 京都, 1/24 (2002).
 - 10) 武田三男, 「テラヘルツ時間領域分光法の原理と物性物理学への応用」高エネルギー加速器研究機構研究会「光分光と中性子分光の接点」つくば市, 3/18-19 (2002).

[4] 解説等

- 1) 北原英明, 谷正彦, 武田三男, 「テラヘルツ時間領域分光とフォトニック結晶への応用」固体物理, **36**, 391-401 (2001).
- 2) 武田三男 「テラヘルツ波制御用3次元フォトニック結晶の創製と応用」マテリアルインテグレーション, **14**, 15-20 (2001).
- 3) 桐原聡秀, 宮本欽生, 武田三男, 迫田和彰, 「傾斜格子構造を有するダイヤモンド格子型および反転型フォトニック結晶による電磁波制御」, 粉体および粉体冶金, **49**, 1139-1144 (2002).

[5] 単行本 (単著, 共著の別)

- 1) 谷正彦, 武田三男 「テラヘルツ帯フォトニック結晶とその応用」共著, 「フォトニック結晶技術とその応用」, (川上彰二郎監修 CMC 出版, 169-182, 02).
- 2) 武田三男 「テラヘルツ領域フォトニック結晶」共著, 野田、馬場編集 「フォトニック結晶研究の現状と将来展望-改訂版-」第10章分担, (光産業技術振興協会編集 2002) .
- 3) Mitsuo Wada Takeda,

"Photonic Crystals in the Terahertz Region", Chap.10 in "Road Map of Photonic Crystals", edited by S. Noda and T. Baba, (*Kluwer Academic Publisher*, 2003).

[6] その他

6-1. マスコミ等にとりあげられた記事

信濃毎日新聞 平成 14 年 5 月 27 日朝刊

6-2. 受賞関係, 特記すべき事項

特許(工業所有権)

『単色パルス光励起によってフォトニック結晶部材から放射された白色電磁波を光源とする分光測定装置』, 特許出願番号: 特願 2002-081810, 発明者: 武田, 西澤

『光デバイス (フォトニック結晶スペクトル分波装置)』, 特許出願番号: 特願 2002-267084, 発明者: 飯田, 渡辺, 谷, 阪井, 近藤, 武田
『発振器 (光増幅発振器)』, 特許出願番号: 特願 2002-333112, 発明者: 飯田, 谷, 武田

6-3 各班間の連携と共同研究の成果

- 1) 「THz 時間領域分光法によるフォトニック結晶中の電磁波分散関係の決定」について A-1 ア班及び A-1 イ班と共同で研究を行った。フォトニックバンド計算を主に、A-1 ア班及び A-1 イ班が行い、THz 分光実験を本班 (A-3 イ班) が行った。理論計算と実験を比較しフォトニック結晶中の電磁波の分散関係を明らかにした。(共著論文: 2 編)
- 2) 「二次元エアロッド格子中の線欠陥モードの励起とそのモードパターンの決定」については A-1 イ班と共同で研究を行った。A-1 イ班は、線欠陥モードの電界強度の空間分布を FDTD 数値計算により解析し、またそれらのモードに波数ベクトル依存性を予測し、本班 (A-3 イ班) が THz 波透過測定によりそれを確かめた。(国内学会発表 2 件)
- 3) 「テラヘルツ領域ダイヤモンド格子フォトニック結晶の作製と評価」については、大阪大学接合研究所および A-1 イ班と共同研究である。バンドギャップ領域に方向依存性を出現させるために、ダイヤモンド格子を一方向に引き伸ばした変形格子を作製した。結晶格子の中心位置にマイクロ波発振用のアンテナを挿入し発振特性の方向依存性を測定した。特定領域のマイクロ波を引き伸ばした方向にのみ発振させることに成功した。これにより、バンドギャップの方向依存性を利用して発振方位を制御できることを実証した。本班 (A-3 イ班) および A-1 イ班は、ダイヤモンドおよび逆ダイヤモンド格子のバンド構造を平面波展開法による数値計算により解析し、マイクロ波の伝播特性を考察した。(共著論文: 1 編)