

平成25年度 先端研究拠点事業(国際戦略型) 活動報告書(概要)

1. 概要

研究交流課題名 (和文)	シリコンフォトニクスによる電子・光融合に関する研究		
日本側拠点機関名	東京大学大学院工学系研究科		
コーディネーター 所属・職・氏名	東京大学大学院工学系研究科・教授・和田 一実		
相手国(地域)側*	国名	拠点機関名	コーディネーター所属・職・氏名
	ベルギー	ヒェント大学	ヒェント大学・教授大学・教授・Roel Baets
	米国	マサチューセッツ工科大学	マサチューセッツ工科大学・教授・L. C. Kimerling

*5カ年の研究交流内容・成果などの概要をA4 1枚にまとめて記載してください。

本シリコンフォトニクスによる電子・光融合に関する研究では、その最大の技術的な隘路となっていた光源の集積化と光源波長の温度無依存性を共通の目的と位置づけ、上記相手国に機関を研究交流を進めた。これにより、本課題による拠点間の人・情報の交流を強化する体制を整え、次世代のシリコンフォトニクスの基礎となる以下の成果を得た。

1. MIT 拠点からシリコン上での Ge レーザーの発振、Gent 大からシリコン上での化合物半導体レーザーの貼り付けによる発振、東大から MEMS 構造によるシリコン上の Ge および GaAs の禁制帯の温度無依存化、を実現した。Ge レーザーについては新規な展開であり、現在の電子集積回路と同様なシリコンフォトニクスのモノリシック集積に道を拓くものである。III-V 族半導体レーザーの貼り付けは当面するシリコンフォトニクスの集積光源に道を拓くものであり、波長多重方式の電子・光融合集積回路への導入のコーナーストーンとなる。さらに、環境温度のふらつきによる発振波長の変動の問題を解決するため、シリコン上の Ge と GaAs に応力を印加しその禁制帯を動的に制御できることが示されたことから、これらの集積化光源の発振波長の温度無依存性を達成するブレークスルーが得られた。

2. これらの成果は本課題で組織したシリコンフォトニクス国際会議、セミナー、さらにはスクールをなどの face to face の交流とインターネット技術を用いた remote 交流を通じ共有することにより得られたものである。これにより参加拠点間および内の研究者を結ぶ、世界三極間のインター・ネットワークが形成され、今後の次世代シリコンフォトニクスのシステム応用を効果的に進める体制が整った。

さらに、国際会議・セミナー・スクールなどの Face to face の交流は全て映像化し、世界に公開中。

第一回の core to core 国際会議(東大開催)はこの研究交流活動の映像の URL を広報するため、YouTube で公開中。

http://www.youtube.com/watch?v=I79Y71x5rcQ&feature=channel_page

3. 我が国の大学初のファンドリー試作を行い素子のプロトタイプ化が大学でも可能となる環境を整え、若手研究者が世界とデバイスデータで討論する環境を整えた。これを通じ、三拠点間の研究交流が強化され、このシリコンフォトニクス分野の将来に不可欠な人的リソースの呼び込みおよびその確保に貢献した。

平成25年度 先端研究拠点事業(国際戦略型) 事後評価資料(実施報告書)

1. 概要

研究交流課題名 (和文)	シリコンフォトニクスによる電子・光融合に関する研究		
日本側拠点機関名	東京大学大学院工学系研究科		
コーディネーター 所属・職・氏名	東京大学大学院工学系研究科・教授・和田 一実		
相手国(地域)側*	国名	拠点機関名	コーディネーター所属・職・氏名
	ベルギー	ヒェント大学	ヒェント大学・教授・Roel.Baets
	米国	マサチューセッツ工科大学	マサチューセッツ工科大学・教授・L.C.Kimerling

※交流相手国数に応じて行を追加して記入してください。

2. 研究交流目標

移行審査時に計画した目標と現時点における達成度について記入してください。

○移行審査時の研究交流目標(移行審査資料に記載した目標を転載のこと)

拠点形成型では、コーディネーターの持つ北米、欧州、日本の世界三局の研究者ネットワークを活用することにより、言わばトップダウン型の交流を進めた。これにより予想を大きく超える成果が得られた(前ページ参照)。国際戦略型では、我が国の拠点に所属する協力研究者が上記研究者ネットワークを自発的に発展させ、ボトムアップ型へと移行するようコーディネートする。

1. 拠点協力研究機関の増強

拠点形成型の推進期間中に、研究者間の研究協力が新たに始まった、北米と欧州および国内の研究機関からこのプログラムの趣旨に整合する機関を選抜し拠点協力研究機関とすることとした。これにより研究機関数はこれまでの8 機関から16 機関となった。今後も連携の必要に応じてさらに増やす。これにより研究者ネットワークを自発性の高いボトムアップ型へと移行させ、連携研究に、より適合した研究環境を整備するようコーディネートする。

2. 国内ファウンドリーの整備

拠点形成型の期間では導光路などの受動素子がファウンドリー試作できたが、国際戦略型では能動素子、特に光源をメニューに加える。このための技術注入は東京大とMIT とで行う。これにより、我が国が半導体レーザーの研究開発において発揮した先導性による研究資産をシリコンフォトニクスに要求される光源研究に活かし研究を加速する。もって、第二世代シリコンフォトニクスにおいて最重要課題となるチップ内へ光源を集積化した電子・光融合チップのプロトタイプ化を可能とするとともに、欧米並みの研究環境を大学研究者に提供する体制を完成する。

3. 若手研究者の養成

こうした研究を世界三局の若手研究者とともに構築していく主体として若手研究者を積極的に登用する。これにより世界をリードし、国際的な若手研究者の育成を加速し、この分野を牽引するコアとなる研究者へと養成する。

4. 学術情報の発信

支援終了時には構想概念図に示す国際学術交流拠点(ハブ)が自然発生的に形成される。このための施策として、国際戦略型の構成機関を今回交流の担い手となった若手研究者を含む研究者から募集し、自発性を尊重したボトムアップ型研究者ネットを形成するとした。

○目標に対する達成度とその理由

研究交流目標は十分に達成された

【理由】以下に主たる理由を述べる。

- ・ [企画段階] シリコンフォトニクスによる電子・光融合における技術的な隘路となっていた光源の集積化と光源波長の温度無依存化を共通の目的と位置づけた。これにより、本課題による拠点間の人・情報の交流を強化する体制を整えた。
- ・ [研究成果] MIT 拠点からシリコン上での Ge レーザーの発振、Gent 大からシリコン上での化合物半導体レーザーの発振、東大から MEMS 構造によるシリコン上の Ge および GaAs の禁制帯の温度無依存化、などいずれも次世代のシリコンフォトニクスの基礎となる成果を得た。
- ・ [研究交流] これらの成果は、本課題で組織したシリコンフォトニクス国際会議、セミナー、さらにはスクールなどの face to face の交流とインターネット技術を用いた remote 交流を通じ共有した。これより世界三極間のインター・ネットワークが形成された。Face to face の交流は全て映像化し、世界に公開した。
- ・ [若手研究者養成] 我が国の大学初のファウンドリ試作を行い素子のプロトタイプ化が大学でも可能となる環境を整え、若手研究者が世界とデバイスデータで討論する環境を整えた。これを通じ、三拠点間の若手交流が強化され、この分野の将来に不可欠な人的リソースを確保することに貢献した。

3. 研究交流活動の成果

これまでの交流を通じての成果を、「国際学術交流拠点の形成」「成果の学術的価値」及び「若手人材育成への貢献」の観点から記入してください。また、活動成果の「情報集約性」「社会貢献性」がある場合には記入してください。

○国際学術交流拠点の形成

[アプローチ]

シリコンフォトニクスに不可欠なシリコンへの光源集積化を共通のゴールとし、もって次世代のシリコンフォトニクスに先鞭をつけることを目的とし、北米拠点(MIT)、欧州拠点(Gent 大)、および日本拠点(東大)が互いに有機的に連携し**成果の学術的価値**で述べる目標を設定した。各拠点は目標達成のための研究を進める中で、得られた知見を拠点間で早期に共有するため、本課題のサポートにより三拠点での国際会議の開催(Face-to-face)および日常的な議論(Internet based remote conference)の活用という二通りのアプローチにより研究を加速し、日米欧にまたがる学術交流の拠点形成に至った。

[その他: ファウンドリ試作]

欧米では一般的になっているファウンドリ試作(素子・回路の設計は大学、試作は企業のプロセスを使う方式)を本課題にある「共同研究」費用の枠組みを活用し、我が国の大学で試行した。この過程で北米と欧州拠点の多大なる協力を得た。今回は、集積回路用のシリコンチップにシリコン導波路、フィルター、ファイバー結合器などを集積化したものの製作を企業に委託し、Ge の光検出器、変調器、光源など、各大学の専門性の高い素子をチップ上に形成する方針とした。これによりどちらかと言えば、これまでは素子の製作・評価に留まっていた大学の研究を、回路としての性能評価まで可能となるように拡大することができる。この五年間を経て我が国の他大学にも広く浸透した。

○成果の学術的価値

[北米拠点]シリコンと同じIV族半導体である Ge(間接遷移型半導体)を用いレーザー発振させる技術を開発。

Ge の伝導帯である L 点は Γ 点よりも低く、このため間接遷移型半導体である。しかし、このエネルギー差は僅かであり、引っ張りの応力を印加することによりエネルギー差はさらに収縮する。この歪み印加状態においてドナー不純物の添加によりL点を電子で埋めることにより、 Γ 点に電子を高濃度に占有させることができる。この状態での光学利得計算からレーザー発振を予見し、シリコン上に成長した Ge を発振させた。

[欧州拠点]III-V 族化合物半導体レーザーをシリコンに貼り付け、光源を集積化する技術を開発。

レーザーとして実績のあるIII-V 族半導体をシリコンの導波路上に有機薄膜を用い貼り付け、その状態でレーザー発振させることに成功した。Ge レーザーと異なり、レーザー発振の閾値が低いいため、次世代のシリコンフォトニクスの集積化光源として使用できる特長を有する。これを欧州拠点で重点化しているファウンドリへ導入を進め、光源を含む全ての素子を集積化したシリコンフォトニクスに道を拓きつつある。

[日本拠点]光源集積後の課題を先取りし、発振波長の温度無依存化技術を開発。

シリコン集積回路は動作中に大きな温度変動があり、光源材料の屈折率の温度変動から光源の発振波長が変動するため、波長多重方式が使えない問題があった。この問題を、半導体材料の屈折率が応力印加により制御できることに着目し、シリコン上の Ge あるいは GaAs の二層構造からなる MEMS 構造を用い、応力を印加し Ge あるいは GaAs の禁制帯を動的に制御することに成功した。

上記三拠点で得られた成果は、企画の段階で十分にすりあわせを行い、ゴールを共有しつつ、互いに関連した研究を本課題による緊密な情報と人的交流を加速することにより得られたものである。いずれも従来の到達点とは不連続な新分野を切り拓く高い学術的価値を有する。拠点形成による研究交流の重要性を如実に物語っている。

○若手人材育成への貢献

本課題を遂行する中で、日米欧の三拠点において国際会議を開催し、さらにスクールを別途で開催する措置をして頂いた。こうした中で我が国の若手が欧米に比べ、研究能力はもちろんコミュニケーション能力に関しても全く差のないことを理解することができた。

研究能力については、ファウンドリという環境が与えられることによりMITの若手と同様に高いレベルの研究成果を得るようになり、さらにコミュニケーション能力についても研究室での会話を英語にすることにより、国際会議やスクールでの質疑が若手主導でなされるように変わった。若手には長期派遣の機会も与え、その中には修士課程の学生も含まれる。従って、若手人材の育成への貢献という意味では、研究や交流の機会を頻度高く与えたことに尽き、本課題の枠組み実装の成果といえる。

○情報集約性

[企画段階]

次世代のシリコンフォトリソグラフィの形態が光源集積化にあることを、本課題を企画する中で日米欧の三極間での議論により明確に共有した。この五ヶ年に企画当初の予想を遥かに超えて、2013年現在では光源集積化が世界の流れとなった。本課題のテーマであるシリコンフォトリソグラフィの分野の急速な成長に助けられたとは言え、三極間での議論の精度の高さを物語っている。

[実行段階]

本課題の推進の過程では、すべての国際会議、セミナー、スクールでの講演を情報集約性の観点からビデオ化し、一般に公開してきている。第一回 core to core 国際会議は、このデータの存在を外部に広報するため、そのダイジェスト版を youtube に公開した。本日(2013.4.28)現在で、2000 に迫る閲覧数となり、増え続けている。この数は、参加者数の 10-20 倍にあたり、多くの方の注目を浴び、広報の目的は達している。他にもシリコンフォトリソグラフィに関するものが youtube に公開されているが、このシリコンフォトリソグラフィは会議のダイジェストとしては群を抜いた回数を記録している。

[今後]

シリコンフォトリソグラフィの今後についても議論を深めた。特に情報処理や通信に関連する情報を集約した。第 6 節の今後の課題にまとめて示す。この他、センサーへの応用など様々な可能性がある。

○社会貢献性

本課題を遂行する上で、北米、欧州、日本における研究拠点間の交流を促進することで、シリコンフォトリソグラフィに関する研究者の新規参入と定着を推進し、なかでも国際的に通用する若手研究者を育成するという観点において大きな社会貢献を果たした。また、シリコンフォトリソグラフィに必要な素子技術に関する研究成果が得られたことで、今後のシステム応用によって将来的なエネルギーイノベーションを進化させ、社会インフラの高度化にも貢献できる目途をつけた。

4. 研究交流活動の交流実績

これまでの研究交流活動について、「共同研究」、「セミナー」及び「研究者交流」の交流の形態ごとに、派遣及び受入の概要を記入してください。各年度における派遣及び受入実績については、「事後評価資料(交流状況報告書)」に記入してください。

○共同研究

【概要】

先端研究拠点形成事業の開始時(2008年度)に、シリコンフォトニクスにおける光源集積の重要性を示し、その具体化を目標とし研究協力を進める、北米、欧州および日本の世界三拠点を選定し研究交流を進めた。国際戦略型へ移行を企画中の2009年に北米拠点において光励起によりGeレーザーとして実現した。また、ゲント大の協力を得て開始した、我が国初の大学によるファウンドリ試作も順調に進み、大学でのファウンドリ使用が日常的な研究アプローチとなり、内閣府のFIRSTにシリコンフォトニクスが選出されるに至った。北米、欧州、および我が国を三国際拠点とする共同研究の枠組みとその協力体制が適切であることの証左と言える。

若手の長期派遣の実現は他の若手に大きなインセンティブを与え、海外にて研究することを目指す若手の台頭をエンカレッジするに十分なものである。研究交流をさらに深めることにより、電流注入型のGeレーザーが室温で動作した。これは本プロジェクトの研究および交流企画がタイムリーであったことを示している。日本拠点から、当初計画になかった光計算に関する研究が報告され、シリコンフォトニクスにおける新たな潮流として評価された。本計画終了後を見据え、本課題ではインターネットを最大限に活用した若手のネットワーク作りを進め、さらに2011年度に続きスクーリングを認めて頂き、ネットワーク作り、特に内外の若手の間にFacebookなどを用いた日常的な交流の環境が整った。研究ではチップに波長多重方式を集積化する上で不可欠な波長の温度無依存化が報告。三極でのシリコンフォトニクス研究開発の現状や今後の方向性などを含む最新の成果が集まり、互いにシェアする体制が準備できた。

以上の成果は、この後のシリコンフォトニクスの研究開発を効率化すると考えられる。タイムリーかつ柔軟に支援頂いた JSPS core to core program の関連各位に感謝する。

○セミナー

(回)

	平成 20 年度	平成 21 年度	平成 22 年度	平成 23 年度	平成 24 年度
国内開催	1	2	1	5	3
海外開催	0	1	2	1	0
合計	1	3	3	6	3

【概要】

国内開催：海外からの講師によるマイクロフォトニクスセミナーを7回開催

第1回、第5回 JSPS CORE TO CORE シリコンフォトニクス国際会議

スクール形式プログラム 2回開催

海外開催 第2, 3回 JSPS CORE TO CORE シリコンフォトニクス国際会議を拠点機関のヒント大学と MIT にて開催

第4回 JSPS CORE TO CORE シリコンフォトニクス workshop をロンドンで開催

○研究者交流

【概要】

国際会議：国内7拠点の研究者が MRS 国際会議、SPIE 国際会議、IEEE 国際会議、OFC 国際会議、CLEO 国際会議 他にてシリコンフォトニクスに関する発表、講演を行い、情報交換、研究成果の発信を行った。

若手研究者交流：長期派遣として MIT に2名、マックスプランク研究所に1名、マックマスター大学に1名、コーネル大学に2名を派遣。

短期派遣としてクイーンズランド大学、オルレアン大学、ピッツバーグ大学の研究室を訪問。

米国の IBM, 米国の INTEL を訪問し研究討論を行った。

フィンランド VTT Technical Research Centre を訪問しフィンランドにおけるシリコンフォトニクスの最近の進展に関する情報収集を行った。

海外スクール：英国、中国、イタリアで行われたシリコンフォトニクススクールに若手研究者を派遣。

中国で行われたシリコンフォトニクススクールには講師として研究者を派遣した。

5. 事業の実施体制

本事業における、「日本側拠点機関の実施体制」「相手国拠点機関との協力体制」及び「日本側拠点機関の事務支援体制」について記入してください。

○日本側拠点機関の実施体制（拠点機関としての役割・国内の協力機関との協力体制等）

東京大学の役割・拠点内機関との協力体制

研究としては、シリコン上の光源の温度無依存化を分担し、ファウンドリ試作の取りまとめを行った。研究交流としては、研究者の派遣、国際会議などの企画を行った。

拠点内機関は、京都大学、東北大学、横浜国立大学、電気通信大学、岡山大学、兵庫県立大学である。これらの機関とは上記拠点機関の分担した温度無依存化について議論を進めるとともに共同での実験も進めた。研究交流の具体化戦略として、北米・欧州における本分野における欧米における研究機関と国際会議の内、今回の研究企画に特にフィットしたフラグシップ的な機関と会議を選び出し、研究交流を進めるとともに人的派遣を行った。

共同研究の枠組を活用し、全ての機関に呼びかけファウンドリ試作を試行した。ファウンドリ試作はコンセプトの具体化には不可欠であり、東京大学では、当初企画にはなかった着想であり、二分決定回路による光計算素子をプロトタイプ化することに成功した。CMOS 素子の 100 倍高速で、100 分の 1 の消費電力で動作する、光計算機の原理実証となるものである。

○相手国拠点機関との協力体制（各国の役割分担・ネットワーク構築状況等）

MIT の役割・ネットワーク構築状況

研究としては、シリコン上の Ge レーザーの発振を担当した。間接遷移型半導体のレーザー発振コンセプト立案などについて東京大学と協力した。

北米拠点内機関としては Rochester 大、Lehigh 大、Cornell 大、Stanford 大、NRC、MacMaster 大、Caltech 大、UCLA である。

ネットワークとして、これまでも構築されていたものはあるが、さらに北米の他大学と MIT とのこの連携を、この core to core の戦略型移行後は研究交流に活かすことができた。

Gent 大の役割・ネットワークの構築状況

研究としては、シリコン上の III-V 族レーザーの発振を担当した。ポリマーを用いた貼り付けは再現性も良く次世代の光源集積化において最も実用に近い手段を提供することに成功した。ファウンドリ試作については欧州連合での経験を活かし、チップベースでの独立設計・試作という道を選択した。基本回路の構成法などに関するノウハウに近いものも知ることができ、第一回のファウンドリ試作から成功したことは、この枠組みの重要な成果といえることができる。

欧州内拠点機関としては Surrey 大、Max Planck 研究所、Stuttgart 大、Rome 大、ウィーン工科大、Trento 大、FOM 研究所、パリ南大である。

これらネットワークを今回の core to core に活用することができ、研究者交流がさらに拡大されるとともに深まった。

○日本側拠点機関の事務支援体制（拠点機関全体としての事務運営・支援体制等）

東京大学大学院工学系研究科の事務支援を頂いた。

6. 今後の課題と展望

5か年の活動によって明確になった本分野・体制等における課題、本事業から得られた成果や拠点機関としての研究交流活動の展開について将来的な展望を記入してください。

○課題等

この五ヶ年にシリコンフォトニクスで基本的に必要な素子に関してはほぼ出揃ったため、今後はシステムへの応用が進むことになる。具体的には、今後の展望で示すように、主たる応用分野はコンピュータ応用と通信応用である。こうした応用を展開する上で最も大切な課題の一つは、グリーン ICT つまりシステムの消費電力の低減がある。シリコンフォトニクスへの大きな期待は電子回路と光回路の集積化による小型化による、性能向上と、電力の高効率化がある。1980年代にコンピュータの高性能化を引っ張った研究はポリプロセッサの研究であった。その後、シリコン集積回路の飛躍的な発展があり、ポリから単一へ振り子が振れた。しかし、2000年前後に顕在化した集積回路の発熱による誤動作は再びポリプロセッサへと流れた。この流れはメニーコアと呼ばれるが、基本的には以前のポリプロセッサと同じ流れである。この振り子を逆に振らせる原因は常に電力消費とそれに伴う発熱であり、シリコンフォトニクスのシステム展開に関しても、課題はそこにある。電力消費の少ないシステムアーキテクチャを選定し、それをシリコンフォトニクスにより実現することが大切である。具体的には情報容量の増大のキーとしては、デジタルコヒーレント技術と波長多重技術が双璧であるがその両者をチップ上に implement するための条件は heat dissipation となると考えられる。

○将来的な展望

[コンピュータ応用]

現在、最も期待されている応用分野の一つはデータセンターのコンピュータ間を結ぶ高速な光接続ケーブルであり、さらにはそのコンピュータ内の内部に超高速な光接続(光トランシバー)が入ることになる。この光接続ケーブルはすでにスーパーコンピュータでは一般的なものになりつつあり、後者は2013年3月に米国の企業がシリコンフォトニクスを用いた製品を発表した。今後はさらにはシリコン集積回路チップ間やチップ内にシリコンフォトニクスはその活動分野を拡げることが必定である。

[通信応用]

次に、応用可能性の高い分野は通信である。コンピュータ応用と一見類似しているが、通信には品質を保つため厳しい規格が存在する。この規格を満たすには、現在のシリコンフォトニクスではさまざまな困難性がある。この問題をクリアするため、本質的なブレイクスルーが必要になると考えられる。

[研究交流]

上記した二つの応用を具体化する上で、今回構築したインター・ネットワークは2013年以降にもその効果が期待できる。まず、日本拠点として、以下の活動を継続する。課題解決の基本は議論である。日々のインターネットを活用するとともに、一般の国際会議参加時に集合し、継続的な情報交換をこれまで通り行うこととする。若手研究者の育成については、すでに述べたように拠点機関として特段しなければならないことはない。むしろ、自主性に任せれば良い段階にすでに到達していると考えられる。また、著しい成果を得た研究者が我が国を訪問する際には、これまで同様に core to core 会議を開催し、face to face の研究交流を進める。

7. この課題に関連した主な発表論文名・著者名

コーディネーターあるいは参加研究者が実施期間中に発表した論文で、この交流の成果であり、本事業名が明記されているものを記載してください。コーディネーター・参加研究者の氏名にはアンダーラインを付してください。また、相手国の参加研究者との共著論文には、文頭の番号に○印を付し、相手国名を記入してください。

(1) 学術雑誌等(紀要・論文集等も含む)に発表した論文又は著書

・査読がある場合、印刷済み及び採録決定済のものに限り、査読中・投稿中のものは除く。また「査読」欄に○印を付す。

整理番号	著者名、発表論文名、学会誌名、発表年月巻号等	査読	相手国名 (共著の場合)
1	<u>Yoshio Morales</u> , D. H. Broaddus, <u>Tomohiro Kita</u> , Atsushi Tsukazaki, Masashi Kawasaki, Alexandre L. Gaeta, and <u>Hirohito Yamada</u> , "Analysis of the Nonlinear Optical Parameter of ZnO Channel Waveguides", Applied Physics Letters, 97 , 71105 2010年8月	○	
2	<u>Edgar Yoshio Morales Teraoka</u> , <u>Tomohiro Kita</u> , Daniel H. Broaddus, Atsushi Tsukazaki, Masashi Kawasaki, Alexander L. Gaeta, and <u>Hirohito Yamada</u> , "Analysis of the Nonlinear Optical Parameter of ZnO Channel Waveguides", Japanese Journal of Applied Physics, 50 , 04DG01 2011年4月	○	
3	Yunosuke Wakayama, Tomohiro Kita, and Hirohito Yamada, "Optical Crossing and Integration Using Hybrid Si-Wire/Silica Waveguides", Japanese Journal of Applied Physics, 50 , 04DG20 2011年4月	○	
4	Yuta Taira, Tomohiro Kita, Edgar Yoshio Morales Teraoka, and Hirohito Yamada, "Analysis of Phase Matching Conditions for Generating Second Harmonic in ZnO Channel Waveguides", Japanese Journal of Applied Physics, 51 , 04DG04 2012年4月	○	
5	Keita Nemoto, Tomohiro Kita, and Hirohito Yamada, "Narrow-Spectral-Linewidth Wavelength-Tunable Laser Diode with Si Wire Waveguide Ring Resonators", Applied Physics Express, 5 , 082701 2012年8月	○	

(2) 国際会議における発表

・著者名(参加研究者を含む全員の氏名を、論文等と同一の順番で記載すること)、発表題名、発表した学会名、開催場所、論文等の番号、発表年月日等を記載すること。発表者に○印を付すこと。

・査読がある場合、「査読」欄に○印を付す。

整理番号	著者名、発表題名、学会名、開催場所、口頭・ポスター等の形式、論文等の番号、発表年月日等	査読	相手国名 (共同発表の場合)
1	○ <u>J. Cai</u> , K. Sumie, N. Toyoda, Y. Ishikawa, and K. Wada, "Gas cluster ion beam treatment for silicon waveguide trimming", 9th IEEE International Conference on Group IV Photonics (GFP), San Diego, USA, 口頭, pp. 352-354 (2012 Aug 31).	○	
2	○ <u>T. Kita</u> and H. Yamada, "Experimental and numerical analysis study of 1-D photonic crystal in Si photonic-wire waveguides", SPIE Photonic WEST, Moscone center, San Francisco, ポスター, 7606-48, 2010 Jan.27	○	
3	○ <u>T. Kita</u> , <u>M. Abe</u> , and <u>H. Yamada</u> , "Practical Integration Method of Active Devices on SOI Photonic Integrated Circuits", GFP2010, Peking China, ポスター, P2.5 2010 Sep 3	○	
4	○ <u>T. Kita</u> , R. Ishikawa, and H. Yamada, "Photonic Band-Gap Anomaly in SOI Photonic-Wire Bragg-Grating Filter", GFP2010, Peking China, ポスター, P2.5 2010 Sep 3	○	

5	OE. <u>Y. Morales Teraoka</u> , D. H. Broaddus, <u>T. Kita</u> , A. Tsukazaki, M. Kawasaki, A. L. Gaeta, <u>H. Yamada</u> , “Experimental Observation of Self-Phase Modulation in ZnO Channel Waveguides”, SSDM2010, Tokyo Japan, 口頭, D-1-3, 2010 Sep 22	○	
6	O <u>Y. Wakayama</u> , T. Kita, H. Yamada, “Low loss junction of Si-wire waveguides and silica based waveguides for a hybrid waveguide photonic integrated circuit”, SSDM2010, Tokyo Japan, ポスター, P-7-1, 2010 Sep 23	○	
7	O <u>Hidenori Iwata</u> , Tomohiro Kita, Hirohito Yamada, “Variation of optical properties by the crystalline phase transition of polycrystalline silicon”, SPIE Photonics West, Moscone center, San Francisco, ポスター, 7943-50, 2011 Jan 26	○	
8	O <u>N. Toyoda</u> , I. Yamada, “ Cluster ion beam assisted thin film deposition” (Invited) Optical society of America 2010 Optical Interference Coating (OIC), (June 6-11, 2010, Tucson, AZ, USA)	○	
9	O <u>Ken Suzuki</u> , Tomohiro Kita and Hirohito Yamada, “Wavelength Tunable Laser Diodes with Si-Wire Waveguide Ring Resonator Wavelength Filters”, SPIE Photonics West, Moscone center, San Francisco, ポスター, 7943-51, 2011 Jan 26	○	
10	O <u>Koichi Abe</u> , Edgar Yoshio Molares Teraoka, Tomohiro Kita, and Hirohito Yamada, “Nonlinear optical waveguides with rutile TiO ₂ ”, SPIE Photonics West, Moscone center, San Francisco, ポスター, 7943-49, 2011 Jan 26	○	
11	O <u>T. Kita</u> , and H. Yamada, “Zero Photonic Band-Gap Structure in Si Photonic-Wire Bragg-Grating”, GFP2011, Royal society London, England, ポスター, p1.26, 2011 Sep 14	○	
12	O <u>Y. Wakayama</u> , T. Kita, and H. Yamada, “Optical Crossing by Hybrid Si-Wire/Silica Waveguides”, GFP2011, Royal society London, England ポスター, p2.27, 2011 Sep 14	○	
13	O <u>Takahisa Osaka</u> , Tomohiro Kita and Hirohito Yamada, “Investigation of grating coupler type optical I/O interface at the 1.55 μ m wavelength range”, SSDM2011, Nagoya Japan, 口頭, H-50, 2011 Sep 29	○	
14	O <u>Yuta Taira</u> , Tomohiro Kita, Edgar Yoshio Morales Teraoka and Hirohito Yamada “Modal phase matching in ZnO channel waveguide for highly efficient second harmonic generation”, SSDM2011, Nagoya Japan, 口頭, I-3-3 2011 Sep 29	○	
15	O <u>N. Toyoda</u> , I. Yamada, “Gas cluster ion beam technology for nano-fabrication”, 4 th international conference on smart materials structure system (CIMTEC 2012) June 10-14, Motecatini Terme, Italy (invited)	○	
16	O <u>Keita Nemoto</u> , Tomohiro Kita, and Hirohito Yamada, “Narrow spectral linewidth wavelength tunable laser with Si photonic-wire waveguide ring resonators”, GFP2012, San Diego, California, 口頭, ThD4, 2012 Aug 30	○	
17	O <u>Masaki Nara</u> , Tomohiro Kita, Yuichiro Tanushi, and Hirohito Yamada, “Theoretical analysis method of vertical coupling optical I/O interface with mirrors”, SSDM2012, Kyoto Japan, 口頭, A-2-7, 2012, Sep 25	○	
18	O <u>Tomohiro Kita</u> , Koji Uchijima, and Hirohito Yamada, “Anomalous localization modes in Bragg-grating based on high index-difference waveguide”, SPIE Photonics West, Moscone center, San Francisco, ポスター, 8629-47, 2013 Feb 5	○	

19	○ <u>Koji Uchijima, Tomohiro Kita, and Hirohito Yamada,</u> “Nonlinear optical photonic crystal waveguide with TiO ₂ material”, SPIE Photonics West , Moscone center, San Francisco,口頭,8626-48,2013 Feb 6		
20	○ <u>Tomohiro Kita, Keita Nemoto, and Hirohito Yamada,</u> “Si Photonic Wavelength Tunable Laser Diode for Digital Coherent Optical Communication”, OECC2013,Kyoto Japan,口頭、WM1-3,2013 Jul 3		

(3)国内学会・シンポジウム等における発表

・(2)と同様に記載すること

整理番号	著者名、発表題名、学会名、開催場所、口頭・ポスター等の形式、論文等の番号、発表年月日等	査読	相手国名 (共同発表の場合)
1	○ <u>エドガル芳男 モラレス寺岡, ダニエル ブロードス, 北 智洋, 塚崎 敦, 川崎雅司, ガエッタ アレキサンダー, 山田博仁,</u> “ZnO チャネル型光導波路における自己位相変調効果の観測”,2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会,長崎市 長崎大学, 口頭、14p-G-12、2010 9/14		
2	○ <u>若山陽之介, 北 智洋, 山田博仁,</u> “複合導波路光集積回路に向けた Si 細線光導波路とシリカ系光導波路の低損失接合構造”, 2010 年秋季第 71 回応用物理学会学術講演会,長崎市 長崎大学, 口頭、17a-G-7、2010 9/14		
3	○ <u>平 裕太, モラレス寺岡 エドガル芳男, ダニエル ブロードス, 北 智洋, 塚崎 敦, 川崎 雅司, アレキサンダー ガエッタ, 山田 博仁,</u> “チャネル型 ZnO 導波路における非線形光学係数 γ の構造依存性”,2011 年春季第 58 回応用物理学関係連合講演会, 厚木市 神奈川大学,口頭、26p-KB-13、2011/3/26		
4	○ <u>平 裕太, 北 智洋, モラレス寺岡 エドガル芳男, 山田 博仁,</u> “チャネル型 ZnO 二次高調波発生光導波路の検討”, 2011 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会,山形市 山形大学,口頭、1p-ZN-1、2011/9/1		
5	○ <u>若山陽之介, 北 智洋, 山田 博仁,</u> “Si 細線光導波路とシリカ系光導波路による交差構造の検討”, 2011 年秋季第 72 回応用物理学会学術講演会,山形市 山形大学,口頭、2a-ZN-5、2011/9/2		
6	○ <u>根本景太, 北智洋、山田博仁,</u> “Si 細線光導波路リング共振器フィルタを用いた狭線幅波長可変レーザー”, 2012 年電子情報通信学会総合大会、口頭、C-3-44、2012/3/22		
7	○ <u>北智洋、根本景太、山田博仁,</u> “シリコン細線光導波路を用いた狭線幅波長可変レーザーの開発”, 電子情報通信学会光エレクトロニクス研究会 8 月研究会、東北大学、口頭、25、2012/8/24		
8	○ <u>Masaki Nara, Tomohiro Kita, Yuichiro Tanushi, and Hirohito Yamada,</u> “Theoretical analysis of vertical coupling optical I/O interface with reflectors”, 平成 24 年度電気関係学会東北支部連合大会,秋田県立大学,口頭 2A09, 2012/8/31		
9	○ <u>奈良匡樹, 北智洋, 田主裕一朗, 山田博仁,</u> “反射器付垂直結合型光入出力インターフェースの設計解析手法”, 2012 年秋季第 73 回応用物理学会、愛媛大学、口頭、13a-C5-12、2012/9/13		