

**先端研究拠点事業
平成24年度 事業実績報告書**

採用年度	平成 22 年度
種別	国際戦略型

平成 25 年 4 月 12 日

採用番号	20003
領域	工学
分科	電気・電子工学
細目	電子デバイス・電子機器
分科細目コード	5103
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
研究交流課題名 (英文)	Electronics and Photonics Convergence by Si Photonics
採用期間	平成 22 年 4 月 1 日～平成 25 年 3 月 31 日 (36 ヶ月)

《実施組織体制》

日本側

拠点機関名	東京大学大学院工学系研究科
実施組織代表者 (所属・職・氏名)	東京大学大学院工学系研究科長・原田 昇
コーディネーター (所属・職・氏名)	大学院工学系研究科・教授・和田 一実
協力機関数	6
参加者数	74

相手国 1

国名	ベルギー
拠点機関名	ヒェント大学
コーディネーター (所属・職・氏名)	ヒェント大学・教授・R. バーツ
協力機関数	8
参加者数	30

相手国 2

国名	米国
拠点機関名	マサチューセッツ工科大学
コーディネーター (所属・職・氏名)	マサチューセッツ工科大学・教授・L. C. キマリング
協力機関数	8
参加者数	39

交流目標の達成（見込）状況

目標の達成（見込）状況を、A～Eのそれぞれの観点から、ポイントを絞って記載すること。

A 学術的な成果 B 持続的な協力関係の基盤構築 C 若手研究者育成における成果
D 国際的学術情報の収集整備 E 事業の波及効果

① 平成24年度事業計画における達成目標

北米、欧州、および我が国における研究拠点間の交流を促進することにより、シリコンフォトニクスによる電子・光融合に関する連携研究を行う体制を整える。具体的にはマサチューセッツ工科大学(MIT)、Ghent大および東京大をそれぞれ中核すると北米ネット、欧州ネットおよびアジアネットを統合するインター・ネットワークを構築し、次世代の情報処理および通信を支えるシリコン上での電子・光回路融合を進める連携研究パートナーシップを形成する。これにより、素子のプロトタイプ化に道が拓け、我が国の研究レベルを欧米と比肩しうるところまで押し上げる結果がもたらされるとともに、従来は素子設計に終始していた若手研究者の多くがこの分野に流入・定着し、将来の優秀な人材の養成の場を提供する。

② 平成24年度事業計画の達成状況 ※成果の公表状況を、別表1にて作成のこと。
※派遣・受入等の交流実施については、別表4-1、4-2にて作成のこと。

A 学術的な成果

拠点形成および国際戦略のプロジェクトの5年間を通じ、本研究課題ではシリコンフォトニクスの最後に残る難問である、シリコンチップ上への光源の集積を目指す研究を、日米欧の拠点間および拠点内における研究交流を進めることにより推進した。この結果、最終年度には日本拠点において将来のオンチップ波長多重信号伝送に不可欠なレーザー発振波長の温度無依存化のキー技術の実証に成功した。これは光源集積が不可欠な次世代のシリコンフォトニクスの基盤を固めるものである。例えば、北米拠点の開発したGeレーザーについては発振波長の温度無依存化に重要な役割を果たすこと、欧州拠点の開発したIII-Vレーザーのボンディングについても同様に日本拠点の開発した温度無依存化技術が今後の実用化に大いに役立つ。このように、日米・日欧の拠点間協力が当初の計画通り光源集積において車の両輪となり次世代のシリコンフォトニクスの端緒となることを証明することができた。今後もこれまでに構築した協力関係を研究の推進に活かして行く。

B 持続的な協力関係の基盤構築

本研究課題では、上記学術成果の達成をゴールとする研究を進める上で必要な研究における協力関係を整備した。具体的にはAに述べた研究課題を推進する中で、支援頂いた研究交流費を各拠点間の人的ネットワークの構築に投下した。これにより、貴会からの支援終了後に多大なる費用をかけずとも、現状のレベルの研究協力を継続するための様々な交流環境を構築した。今年度も以下の二点に注力し研究推進を行った。

[ネットワーク構築]

拠点形成型の段階から拠点間の研究者交流を進めたが、その結果人的ネットワークの構築を支援することができた。今年度もこの資産をさらに若手研究者・学生へ拡大するため、派遣を継続するとともに日本での国際会議とスクールを開催した。別添の派遣・受入人数を参照されたい。

[持続可能な交流環境構築]

上記により構築したネットワークを基盤とし、インターネットなどを用いた交流環境を整備した。三拠点間ではskypeやWebExなどを用い、主催した国際会議およびスクールの講演は全てビデオに収録し、下記のwebにて公開を予定している。<http://lecture.ecc.u-tokyo.ac.jp/~tlecwada>

②平成24年度事業計画の達成状況（つづき）

若手の間では、これらの会議やスクールでネットワークを形成した資産をFacebook などを用い日常的な交流に活かしているものも少なくない。最終の国際会議では、北米、欧州、および日本の各拠点リーダーによる総括講演を企画し、その後にスクールを開催した。ここで、欧州拠点のリーダーである、R. Baets 教授は WebExを用いた遠隔講演を行った。およそ一時間の講演であったが、講演中も質疑でも全く違和感はなかった。これもこの五年間に培った人間関係があつてこそその成果であるが、インターネットの有用性が明瞭に示された瞬間でもあった。今後こうした virtual 会議は費用がかからないため、時間の許す限り企画を継続する。

C 若手研究者育成における成果

本研究課題において企画した上記スクールに加え、本研究課題遂行中に本課題分野において急速な追い上げを示してきた中国においてリコンフォトニクススクールが開催され、報告者は講師として参画した。こうした中で、わが国の若手を他の国と比較することができた。以下に成果とし二つ述べる。

[人間関係]

最初のスクール(欧州開催)に日本から派遣した三名の若手は、質問をすることができずにいた。彼らの英語会話力は高い水準にあつたため、質問ができない背景には人間関係がないことにあると考えられた。事実、今年度わが国で開催したスクールでは彼らには欧州拠点あるいは日本拠点でのスクールにて得たネットワークを活用し、質問に困るところか、スクールを学生の側から

引っ張るまでに成長した。日本で開催していることを忘れるほど活発な質疑応答が交わされ、MIT の Kimerling 教授から賞賛された。報告者が講師を務めた中国でのスクールでは学生間の議論は欧州拠点と同様に活発であつたことを付記する。

[英語]

以上の報告者の経験から、日本の若手の英会話力に大きな問題はなく、人的なネットワークのないことが経験を積めないことにつながっている、と言える。core to core の制度を活用し、スクールなどがさらに頻度高く行われることを期待したい。

D 国際的学術情報の収集整備

拠点間での情報交換により、シリコンフォトニクスの研究と応用の方向性について以下にまとめる。

シリコンフォトニクスには 1986-1998 の潜伏期、1999-2012 の基礎研究、および 2013 に始まる応用研究の時代に分けられる。潜伏期ではシリコンフォトニクスの提案から始まり Si 上の Ge 受光器の報告に終わり、光源以外はすべての光素子をシリコン上に実現できることが示された。これに続く基礎研究の時代は本研究課題の遂行と重なり、高原を含めすべての光素子がシリコンフォトニクスにより実現されかつ高性能化された時期であり、日米欧のゴールに大差はなかった。

これからの時代はシリコンフォトニクスの応用に拍車がかかる時代となる。この応用研究の時代では方向性を明確にリソースを投下することが重要となる。米国ではコンピュータの高速化に特化した研究が進むと考えられる。一方、欧州は Intel や IBM のようなコンピュータチップ産業がないこともあり、デバイス・システムの製造技術の確立により、世界の工場 (foundry) をめざしているように見える。わが国のシリコンフォトニクスは、本課題に続く形で、最先端プロジェクトの一つとして産官学の連携により極めて順調に推進している。今後は、その応用分野の明確化とそこへの注力が必要になる。その折に波長多重方式のチップ適用は最重要となる。

E 事業の波及効果

本課題では日本拠点ではチップ内の大容量データ通信を可能とする波長多重方式に不可欠な波長の温度無依存化のための装置が実現された。これをコンピュータチップや通信チップに適用することにより、最大で 1000 倍の通信容量の増大が視野に入る。これを生かすことにより、シリコンフォトニクスをリードすることが期待される。

実施状況

研究交流計画実施にあたる実施体制

国内外の拠点機関及び協力機関の間の、協力連携の状況

※研究参加者リストを、別表2にて作成のこと。

スクール： 拠点機関、協力機関の先生が連携しスクールの講師を行った。拠点機関の大学の学生が多数スクールに参加した。

セミナー： JSPS Core to Core 第5回国際会議においては3拠点のコーディネーターが事前に協議し、会議の準備を進めた。

(ヒェント大バーツ教授はWebExにて参加)

日本側拠点機関における研究交流課題への取り組み（事務支援体制等の観点より）

スクール： 海外からの講師は当初予定していたより、先方の都合で来日できなくなったため、少なくなった。予算計画をたてづらかった。

海外学生の参加は23名と昨年度より多く、安価な宿泊施設を用意するのが大変だった。

旅費申請は事務作業にかなりの時間を要した。

共同研究

年度当初の交流計画をふまえ、共同研究を実施するにあたっての枠組み、活動内容、得られた成果等

(国内外の拠点機関・協力機関との連携状況も、考慮すること)

シリコンフォトニクスにおける光源集積の重要性から、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、これまでに電流注入型のGeレーザが室温での動作、III-V族レーザーのシリコンへの貼り付け、さらにレーザー発振波長の温度無依存化の基盤技術開発などの成果を得てきた。さらに、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ー試作も順調に進み、本年度も大学でのファウンドリー試作を推進した。特に、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に関する技術が、光源のみならず光変調器にも応用にできることを示すことができた。

今年度末の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、2011年度に続きスクーリングを行い、ネットワーク作り、特に内外の若手の間に日常的な交流をする環境が整った。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、海外にて研究を行うことを目指す若手が増えた。日本拠点の私の研究室からは二名の学生が米国へ留学した。少なくとも本課題を通して若手を見る限り海外へのバリアは高くないと見える。しかし、昨今のメディアを騒がしている若手の国内引きこもりを考えると、むしろこのcore to core 制度が若手の海外への進出を大いにエンカレッジしていると言わなければならない。

以上の学術的・人的な成果はこの後のシリコンフォトニクスの研究開発を加速すると考えられる。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

- ・研究交流計画におけるセミナーの位置づけを、他の交流形態と関連させつつ述べること
 - ・交流目標達成に向け、セミナーが果たした貢献を、具体的に述べること
- ※具体的な実施状況及び成果については、別表3にて作成のこと

□10月1日 講師: Prof. Zhiping James Zhou (Peking University, China)

“Silicon Microring/Micro ring Biosensors”につき講演。講演後参加者と活発な質疑応答がかわれた。

□1月26日 日本学術振興会先端研究拠点事業「第5回シリコンフォトニクス国際会議」

MIT Prof. L. C. Kimerling “Grand Challenges of Si Photonics”

ゲント University Prof. R. Baets “Nonlinear Optics in Crystalline and Amorphous Silicon-on-Insulators integrated circuits” (Webex/WeExにてゲントから参加)

東京大学 和田一実

教授 ‘New Arenas: Sensing and Photovoltaics’

3拠点のコーディネーターによる講演を行った。

□1月26, 27, 28日 日本学術振興会先端研究拠点事業「第2回シリコンフォトニクススクール2013」

海外及び日本から講師9名、海外からの学生23名、日本の研究者及び学生39名が参加した。

3日間の充実した講義の他 Lunch with Professors など企画し、研究者交流を盛んに行った。

Internet の活用

拠点形成型として進めた事業を含め、第一回から第五回のシリコンフォトニクス国際会議および国際戦略型として進めた、第一回および第二回のシリコンフォトニクススクールリングについては全ての講演および講義を以下のサイトにおいてビデオ公開中である。

http://lecture.ecc.u-tokyo.ac.jp/~tlecwada/JSPS_Core_to_Core/

http://lecture.ecc.u-tokyo.ac.jp/~tlecwada/2-JSPS_Core_to_Core/

http://lecture.ecc.u-tokyo.ac.jp/~tlecwada/3rd%20JSPS_core_to_core/Ghent/

http://lecture.ecc.u-tokyo.ac.jp/~tlecwada/3rd%20JSPS_core_to_core/MIT/

<http://lecture.ecc.u-tokyo.ac.jp/~tlecwada/Si%20Photonics%20Fall%20Schooling%202011/>

研究者交流

- ・研究交流計画における研究者交流の位置づけを、他の交流形態と関連させつつ述べること
 - ・交流目標達成に向け、研究者交流が果たした貢献を、具体的に述べること
- ※具体的な交流状況については、別表4-1、4-2にて作成のこと

個々の研究者や学生が研究拠点機関を訪問し、国際的な研究交流ネットワークの基盤構築の促進に大いに貢献し、研究交流を通じ、貴重な知見を得ている。

24年度は456名、3059日、米国、英国、ベルギー、イタリア、フィンランドと中国に派遣した。

MRS 春季、秋季、SPIE EUROPE, PECS-X, 第9回GFP様々な国際会議他に参加し、研究成果の発表、情報収集に努めた。

若手研究者が昨年度のスクール講師の IBM TJ Watson Research Center, Yurii A. Vlasov 氏を訪問し、研究成果を発表し、Silicon Integrated Nanophotonics グループのメンバーと盛んに議論した。Univ. of Rochester Prof. Fauchet Harvard Univ, Prof. Loncar の group を訪問し、フォトニクスに精通した数人の若手研究者と濃密な討論を行った。

これにより本研究の立場がより明確になり、今後の研究方針を決める上で大いに参考になった。

若手交流としてイタリアでおこなわれた University of Trento の 7th Optoelectronics and Photonics Winter School に学生を派遣。学生は、効率的に対話する機会を持ち、情報を交換し、シリコンフォトニクスの国際的なエキスパートから直接講義を受け、議論できる機会を得ることが出来た。

また、第五回のシリコンフォトニクス国際会議では欧州拠点のコーディネーターであるゲント大のパーツ先生に WebEx を通じてゲント大から非線形光学に関する講義をお願いした。国際会議をリモートで行った初めての試みであった。

質問も活発であった。元々本事業終了後はこうした費用のかからない新しい形での交流を進める計画であったが、次年度以降もこうしたネット活用による交流が実際にできることを示すことができた。この場合、費用がかからないだけでなく、講演者にとっても飛行機での移動がないため、バリアがない。問題は時差のみとなり、日米欧の三局での会議の同時開催の時間調整はなかなか難しい。日米あるいは日欧であれば、時差は少なくさほどの問題にはならない。