

平成26年度 研究拠点形成事業(A. 先端拠点形成型)
中間評価資料(進捗状況報告書)

1. 概要

研究交流課題名 (和文)	高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の形成		
日本側拠点機関名	東北大学 電気通信研究所		
コーディネーター 所属・職・氏名	電気通信研究所・特任教授・室田 淳一		
相手国側	国名	拠点機関名	コーディネーター所属・職・氏名
	ドイツ	高性能マイクロエレクトロニクスセンター(Innovations for High Performance microelectronics (IHP))	Technology Department・Professor, Head of Technology Department・TILLACK Bernd
	ベルギー	大学間マイクロエレクトロニクスセンター(Interuniversity Microelectronics Center (imec))	Silicon Process, Devices and Technology Division・Principal Scientist・LOO Roger
	フランス	国立科学研究所マルセイユナノサイエンス学際センター(Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)-Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille (CINaM))	CINaM・Professor・LE THANH Vinh
	スペイン	ビゴ大学(University of Vigo)	Department of Applied Physics・Professor・CHIUSI Stefano
	米国	ニューヨーク州立大学(State University of New York)	College of Nanoscale Science and Engineering (CNSE)・Professor・HIRAYAMA Makoto

2. 研究交流目標

申請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。

○申請時の研究交流目標

世界規模の国際共同研究拠点の形成により、日本単独では困難な高集積原子制御プロセス基盤技術の深耕を国際共同研究により強力に推進するとともに、グローバル化が進む現代の研究開発においてリーダーシップを発揮できる若手人材育成体制を構築する。同時に、世界規模の国際会議・国際ワークショップを各拠点国で企画・開催し、学術論文誌特集号の出版を継続的に行うとともに、本事業のセミナーも同時期に開催し、研究開発資産を集積する体制を構築する。これらの活動を通して、高集積原子制御プロセスの学問的体系化を図り、次世代情報通信の基盤を創出する。

○目標に対する達成度とその理由

上記目標に対する2カ年分の計画について、

- 十分に達成された
- 概ね達成された
- ある程度達成された
- ほとんど達成されなかった

【理由】

高集積原子制御プロセス基盤技術に関する国際共同研究を強力に推進する上で、参加研究者間での信頼感

をもった連携が不可欠であり、Face to Face の打ち合わせの場を持つことが必要である。その場として、国際会議・セミナーをとらえ、研究討論や共同研究などの打ち合わせを進めてきた。その過程で、日本側若手研究者の国際会議・セミナーでの発表のみならず、共同実験のための大学院生の海外派遣、海外拠点機関からの大学院生の受け入れや、日本側若手研究者が海外拠点機関のポスドク研究員になる等、研究の場の拡大を含めた若手人材の育成を着実に進めることができた。また、共同研究成果発表も行われるようになってきた。

高集積原子制御プロセス基盤技術に関する研究成果の発表と研究資産の集積のために、本事業参加研究者が主導して、国際会議を平成 24 年 6 月バークレー、10 月にホノルル、平成 25 年 6 月福岡、10 月サンフランシスコで開催し、学術論文誌特集号やプロシーディングスの出版に大きく貢献した。また、セミナーに関しては、平成 24 年 6 月に米国側拠点機関ニューヨーク州立大学、9 月にスペイン側拠点機関ビゴ大学、11 月と平成 25 年 2 月と 3 月に日本側拠点機関東北大学電気通信研究所、平成 25 年 10 月にドイツ側拠点機関 IHP、平成 26 年 1 月東北大学電気通信研究所で開催した。これらの活動により、国際連携の輪が広がり、着実に研究成果発表と研究開発資産の集積の体制が整いつつある。

以上のように、申請時の研究交流目標に対する2カ年分の計画としては、十分達成されている。

3. これまでの研究交流活動の進捗状況

(1)これまで(平成 26 年 3 月末まで)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、「中間評価資料(経費関係調書)」に記入してください。

○共同研究

【概要】

共同研究打ち合わせは、主に下記セミナーおよび研究者交流のための国際会議の開催場所で行った。

共同実験のため、平成 24 年 9 月 1 日-17 日 スペイン側拠点機関ビゴ大学へ大学院生(研究者番号 1-22)を派遣した。

これらと並行して、国際会議・セミナー開催企画と共同研究推進のため、コーディネーターは下記のように海外拠点機関・協力機関を訪問した。

平成 24 年 9 月 ドイツ側拠点機関 IHP、協力機関シュツットガルト大学

平成 24 年 11 月-12 月 ベルギー側拠点機関 imec、フランス側拠点機関 CNRS-CINAM

平成 25 年 1 月-2 月 米国側拠点機関ニューヨーク州立大学・研究協力者所属プリンストン大学/MIT

平成 25 年 5 月 米国側拠点機関ニューヨーク州立大学

平成 25 年 7 月 フランス側拠点機関 CNRS-CINAM

平成 25 年 12 月 ベルギー側拠点機関 imec

なお、スペイン側拠点機関・ビゴ大学の大学院生(研究者番号 5-8)が平成 24 年 9 月 19 日-12 月 11 日と平成 25 年 2 月 5 日-4 月 26 日の期間、日本側拠点機関東北大学電気通信研究所に特別訪問研修生として滞在し、共同研究を進めた。また日本側協力機関名古屋大学の大学院生がベルギー側拠点機関 imec のポスドク研究員となり、平成 25 年度から参加研究者(研究者番号 3-9)となった。さらに平成 26 年度から名古屋大学の本事業参加研究者(研究者番号 1-17)がドイツ側拠点機関 IHP のポスドク研究員となった。

○セミナー

	平成24年度	平成25年度
国内開催	3 回	2 回
海外開催	2 回	1 回
合計	5 回	3 回

【概要】

セミナーを開催した期間、場所、参加した本事業研究者などは以下の通りである。

平成 24 年 6 月 8 日	米国側拠点機関・ニューヨーク州立大学 CNSE、Albany 本事業参加研究者数 16(内日本 8 名(内院生 2 名))
平成 24 年 9 月 4 日-6 日	スペイン側拠点機関・ビゴ大学、Vigo 本事業参加研究者数 20 名(内日本 9 名(院生 2 名))
平成 24 年 11 月 15 日-16 日	日本側拠点機関・東北大学電気通信研究所、仙台 本事業参加研究者数 16 名(内海外 1 名)
平成 25 年 2 月 22 日-23 日	日本側拠点機関・東北大学電気通信研究所、仙台 本事業参加研究者数 40 名(内海外 4 名)
平成 25 年 3 月 7 日-8 日	日本側拠点機関・東北大学電気通信研究所、仙台 本事業参加研究者数 21 名(内海外 4 名)
平成 25 年 6 月 6 日	九州大学医学部百年講堂、福岡 本事業参加研究者数 32 名(内日本 22 名(内院生 12))一般 159 名(推定)
平成 25 年 10 月 22 日-23 日	ドイツ側拠点機関・IHP、Frankfurt(Oder) 本事業参加研究者数 23 名(内日本 12 名(内院生 3 名))一般 25 名
平成 26 年 1 月 27 日-28 日	日本側拠点機関・東北大学電気通信研究所、 本事業参加研究者数 49 名(内海外 5 名)一般 15 名

○研究者交流

【概要】

国際会議名 開催した期間、場所、参加した本事業研究者などは以下の通りである。

SiGe テクノロジー&デバイス国際会議

(The 6th Int. Silicon-Germanium Technology and Device Meeting; ISTDM2012)

平成 24 年 6 月 4 日-6 日 米国・バークレー、本事業参加研究者数 18 名(内日本 10 名(内院生 2 名))

SiGe、Ge&関連化合物:材料・プロセス・デバイス ECS(The Electrochemical Society)国際会議

(The 5th Int. SiGe, Ge, & Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symposium)

平成 24 年 10 月 8 日-12 日 米国・ホノルル、本事業参加研究者数 18 名(内日本 10 名(内院生 3 名))

Si エピタキシー&ヘテロ構造国際会議(8th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures; ICSI-8)/

半導体界面制御技術国際シンポジウム(6th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces; ISCSI-6)

平成 25 年 6 月 2 日-6 日 福岡、本事業参加研究者数 32 名(内日本 22 名(内院生 12 名))、一般 159 名

ULSI プロセスインテグレーション ECS 国際会議

(8th Int. Symp. on ULSI Process Integration, The Electrochem. Soc.)

平成 25 年 10 月 27 日-11 月 1 日 米国・サンフランシスコ、本事業参加研究者数 24 名(内日本 19 名(内院生 8 名))

また、これら会議の開催企画と海外ネットワーク拡大のため、コーディネーターと本事業日本側参加研究者は、上記国際会議企画のための会合出席や招待講演等の研究者交流も行った。なお、日本側コーディネーターは平成 24 年 10 月に ECS Fellow となり、平成 25 年 5 月に開催された ECS 会議のエレクトロニクスとフォトニクス部門委員会で部門 Secretary となったため、上記 ECS 国際会議の企画・開催を推進できた。

(2)(1)の研究交流活動を通じて、申請時の計画がどの程度進展したか、「学術的側面」、「若手研究者の育成」、及び「研究教育拠点の構築」の観点から記入してください。

○学術的側面

本事業では、Si や Ge などの IV 族半導体の表面・界面反応過程への歪の影響などの要素技術開発と歪などによる電子物性の変調効果の抽出を念頭において、高集積原子制御プロセス基盤技術に関する国際共同研究を推進している。この研究の成果発表と研究開発資産の集積のため、本事業参加研究者が組織委員長・諮問委員・論文委員やオーガナイザー・サブコミティーチェアなどとして役割をはたす国際会議を研究者交流・共同研究打ち合わせの場とした。海外の拠点機関でのセミナーに関しては、共同研究打ち合わせの場のみならず、日本側参加研究者と海外との連携の機会を作ることに重点を置いた。日本側拠点機関でのセミナーは各年度のまとめと今後の活動計画の審議の場とした。平成 25 年度の国際会議（上記 ICSI-8/ISCSI-6）とつながった形のセミナーに関しては、本事業参加研究者の日本側から 5 件、海外より 6 件の研究状況発表をおこない、この分野の研究者に本事業の重要性を示した。これにより、国内外より研究協力者を増やすことができた。すなわち、この分野でのネットワークの拡大につながった。

国際会議開催に伴う学術誌論文やプロシーディングス論文作成に関しては、本事業参加研究者が中心的役割を果たすようになってきている。平成 24 年 6 月の ISTDM2012 では、学術誌 Solid-State Electronics Vol.58, No.9 (May 2013)で Selected Papers（全論文数 20 件）として、本事業参加者の論文が 7 件、10 月の The 5th Int. SiGe, Ge, & Related Compounds では、プロシーディングス論文集 ECS Transactions Vol.50, No.9 (Oct. 2012)（全論文数 131 件）の中に本事業参加者の論文が 24 件であったが、平成 25 年度 6 月の ICSI-8/ISCSI-6 では、学術誌 This Solid Films Vol.557(April 2014)（全論文数 80 件）の中に本事業参加者の論文が 34 件、10 月の 8th Int. Symp. on ULSI Process Integration では、プロシーディングス論文集 ECS Transactions Vol.58, No.10 (Oct. 2013)（全論文数 36 件）の中に本事業参加者の論文が 22 件と、着実に、研究成果発表と研究開発資産の集積に本事業参加研究者が重要な役割を果たすようになっている。

○若手研究者の育成

平成 24 年 6 月、9 月、10 月の海外での国際会議・セミナーでは、延べ 9 名の大学院生が発表した。平成 25 年 2 月の東北大学電気通信研究所でのセミナーでは、電気通信研究所主体の大学院生・学部生の発表の場でもあったが、日本側協力機関である名古屋大学と東京大学から 11 名の大学院学生・ポスドク研究員が発表した。

共同研究の一環として、平成 24 年 9 月に東北大学大学院生 1 名をピゴ大学に約 2 週間派遣した。最初の週は、ピゴ大学と本事業と合同セミナーに参加し、次週は実験に立ち合い、東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設で作製した Si-Ge 系ヘテロ構造の断面構造観察を行った。日本人のいない中での実験であり、意義があったと確信している。また、ピゴ大学より大学院生を、平成 24 年 9 月から平成 25 年 4 月末までの間の約 5 か月間、東北大学電気通信研究所で受け入れた。その大学院生は、ピゴ大学で上記 Si-Ge 系ヘテロ構造表面にレーザ照射し、レーザ照射による表面構造変化を上記ナノ・スピン実験施設で調べた。ピゴ大学との共同研究の引き金となるだけでなく、日本と海外の若手研究者の連携のきっかけになるものである。

平成 25 年 6 月の福岡での国際会議では 12 名の大学院生、平成 25 年 10 月の海外の国際会議・セミナーでは 11 名の大学院生を含む若手研究者が発表した。1 月の東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設でのセミナーでは、海外の参加研究者 5 名をまじえて、大学院生 3 名を含む若手研究者 5 名による口頭発表（15 分間発表と質疑 5 分間）と 19 名による大学院生主体の 5 分間口頭発表とポスター発表を行った。国

内の本事業参加研究者以外の方々の出席をえて、海外との交流のみならず、大学間での若手研究者の交流を深めることができた。

一方、日本側協力機関である名古屋大学からベルギー側拠点機関 imec のポスドク研究員となり、平成 25 年度ベルギー側参加研究者となった若手研究者や平成 26 年度ドイツ側拠点機関 IHP のポスドク研究員となった若手研究者もおり、今後ますます、日本の若手研究者が研究する場が広がることが期待できる。

以上のように、大学院生を含む若手研究者の国際会議・セミナーでの発表や海外研究機関での研究の推進などにより、人材育成が着実に進んでいる。

○研究教育拠点の構築

学術的側面での研究成果発表や研究開発資産の継続的集積には、大学院生やポスドク研究員などの若手研究者の育成が極めて重要である。その視点から、国際会議・セミナーの企画・開催を進め、国際会議・セミナーでの成果発表を含む海外への若手研究者の派遣や海外拠点機関からの若手研究者の受け入れを積極的に進めた。そして、Si や Ge などの IV 族半導体の表面・界面反応過程への歪の影響などの要素技術開発と歪などによる電子物性の変調効果の抽出を念頭においた高集積原子制御プロセスに関する実験を推進できる共同研究体制の構築に努めた。このため、共同研究打ち合わせは、できるだけ国際会議・セミナーとつなげた形にし、海外研究機関と日本研究機関が役割分担型すなわち薄膜形成・薄膜評価・素子製作と評価を分担し、日本単独ではできない研究開発資産の蓄積を世界規模で行えるように進めた。海外との共同研究成果に関しては、現在インキュベーション期間であるため、数は少ないが、ドイツあるいはフランスと日本の共著で 8 件公表した。また、ドイツ、フランス、スペインの共著での公表もできるようになった。今後さらに共同研究成果の公表が期待できる。これらと、国際会議・セミナー開催での研究成果の発表と研究開発資産の集積を連動させて、高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の構築を着実に進めている。

以上の活動をより円滑にするために、日本で協力機関以外からの協力研究者（九州大学）を平成 25 年度 10 月から追加した。またドイツのユーリッヒ研究センターの研究員を平成 26 年度よりドイツ側協力研究者として加えることにした。さらに、平成 26 年度より、共同研究対象を、高集積原子制御プロセスの応用を念頭に置いて、東北大学が得意とする MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)や Photonics 領域に広げ、次世代情報通信の創出につなげる。

4. 事業の実施体制

本事業を実施する上での、「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）

日本側拠点機関である東北大学電気通信研究所は、我が国で唯一の情報通信に関する大学附置研究所である。日本のみならず今後の世界の科学技術の中でも、情報通信分野の継続的発展は極めて重要であり、日本側コーディネーターらの推進する本事業の「高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の形成」のための基盤技術の構築はその発展の最大の鍵となる。特に、日本側コーディネーターらは附属ナノ・スピンの実験施設の最先端クリーンルーム設備により、半導体デバイスの微細化・高集積化に必須な IV 族半導体原子層積層プロセス技術の研究を推進してきている。このため、国際共同研究による高集積原子制御プロセス基盤技術に関する研究成果の収集や世界の研究開発資産の集積と同時に人材育成を進める環境にある。これを推進するため、拠点機関として、この分野の国内の英知を結集することが必要になる。協力機関の東京大学は歪導入による IV 族半導体チャネルエンジニアリング並びに電子物性制御や Ge MOS デバイスの高性能化に関して、協力機関の名古屋大学は金属／

IV 族半導体接合形成における表面・界面制御や Ge-Sn の結晶成長に関して、協力研究者として平成 25 年 10 月から参加している九州大学グループは IV 族半導体の固相成長などのプロセスや歪 IV 族半導体の評価に関して、いずれも先駆的研究成果を上げてきている。したがって、日本側コーディネーターの推進してきた高集積原子制御プロセス基盤技術に関する研究成果と連携融合していくことにより、次世代高性能超微細半導体デバイスの高集積化のための基盤構築が可能となり、一つの大きな学問分野形成を実現していくことができる。このことは、日本のエレクトロニクス産業の振興にもつながるものである。

○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）

相手国拠点機関とは、下記の研究課題に関する共同研究を推進している。共同研究の Face to Face の打ち合わせは、主として国際会議やセミナー開催時に行っている。また、具体的に実験上の課題が出た場合や研究を加速させる場合は、個別に Face to Face 打ち合わせを行っている。Internet により、相互の連絡は容易に行えている。

相手国拠点機関と研究課題

ドイツ側拠点機関 IHP: 原子層ドーピング

ベルギー側拠点機関 imec: CVD 高集積プロセス

フランス側拠点機関 CNRS-CINaM: IV 族系スピン導入制御

スペイン側拠点機関ピゴ大学: レーザープロセッシング

米国側拠点機関ニューヨーク州立大学: 3次元構造形成

海外でのセミナーに関しては、開催する機関が専用の Web-site を立ち上げ、セミナーの内容を公開するようになった。

本事業のセミナーのこれまでのプログラムなど状況は、日本側拠点機関の Web-site:

<http://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/ICRC-ACP4ULSI/> で公開した。

○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）

日本学術振興会に対する拠点機関である東北大学電気通信研究所の窓口は研究協力係である。東北大学国際交流課を通して日本学術振興会から伝達された内容を把握し、コーディネーターと連携して対応している。予算の管理は経理係で、予算の執行は用度係で行っている。日本側協力機関などの参加研究者の海外派遣や国内招聘手続きは総務係で行っている。