

21世紀COEプログラム 平成15年度採択拠点事業結果報告書

1. 機関の 代表者 (学 長)	(大学名)	大阪大学	機関番号	14401
	(ふりがな<ローマ字>) (氏 名)	Washi d a Kiy o kazu 鷲 田 清 一		

2. 大学の将来構想

大阪大学は「地域に生き世界に伸びる」をモットーに、常に進取の気風を持ち社会の要請に従ってユニークな学部・大学院・研究所を整備しつつ、我が国有数の研究型総合大学として発展してきた。例えば、理学と工学の融合による基礎工学部、人文と社会科学を融合した人間科学部、法学と経済学の融合による国際公共政策研究科を創設した。また、平成7年から12年にかけて全部局で大学院重点化を行い、教育と研究の力点を大学院に移すとともに、平成14年度に医学と理工学を融合した生命機能研究科を、工学、基礎工学、理学研究科に分散していた情報科学技術に関連する教育・研究組織を改組・再編し、情報科学研究科を創設した。

このように大阪大学は、常に時代の要請と学問分野の動向を視野に入れて、大胆かつ柔軟に組織改革を行い、新たな学問分野を開拓し、独創的かつ世界を先導する研究を展開するとともに、高度な人材養成を行っている。

本21世紀COEプログラムにおいても、本学が培ってきた実績と将来の発展を考え、幅広い学問分野の統合あるいは異分野の融合により、新しい学問分野の創設や研究深化を通じて、世界的な研究拠点を形成するとともに、それを担う人材育成を目指した。

平成15年度採択の各7拠点の当初の構想は、下記の通りである。

「感染症学・免疫学融合プログラム」（拠点リーダー：菊谷仁（審良静男））では、感染症学と免疫学を統合した感染病態形成の包括的な理解と、人為的な免疫系の操作による感染の制御を目的とした新たな学問拠点を形成し、感染症の予防の確立とアレルギー・自己免疫疾患の克服を目指した。

「疾患関連糖鎖・タンパク質の統合的機能解析」（拠点リーダー：谷口直之）では、難治性疾患や生活習慣病に関わりをもつタンパク質と糖鎖の機能を解明し、画期的なタンパク質治療薬、糖鎖治療薬の開発とともに、オルガネラ異常という視点とも統合させ、生命体システム全体の異常を明らかにすることを目指した。

「フロンティアバイオデンティストリーの創生」（拠点リーダー：米田俊之）では、「口（くち）」のバイ

オデンティストリーに関する研究・教育の世界的拠点を形成し、卓越した研究者と将来を担う若手研究者の輩出とともに、世界最高水準の歯科医学の構築と高度で患者に優しい歯科医療の開拓を目指した。

「究極と統合の新しい基礎科学」（拠点リーダー：大貫惇睦）では、21世紀の新しい基礎科学を生みだすため、①宇宙基礎物質の研究、②物質の創成、③原理の追求の3つのプログラムを通じ、「更に深く」究極世界を探り、「更に広く」統合原理を求める視点から研究教育を行う拠点を目指した。

「物質機能の科学的解明とナノ工学の創出」（拠点リーダー：三宅和正）では、基礎科学に根ざした先端学際領域の研究を推進し、新しい科学・技術の領域を創成するとともに、博士後期過程大学院生の国際的環境での育成、研究の国際交流の発展を目指した。

「原子論的生産技術の創出拠点」（拠点リーダー：遠藤勝義）では、基礎科学や先端産業の分野と横断的に連携し、究極の精度が必要な光学素子や電子デバイス等を製作するため、独創的な加工・成膜プロセスを活用し、新しい独自の原子論的生産技術の創出拠点を目指した。

「アンケート調査と実験による行動マクロ動学」（拠点リーダー：筒井義郎）では、マクロ経済学が精密な実証科学として成立するための方法論、データを確立するため、アンケート調査と経済実験を行うとともに、統一された行動経済学の研究教育拠点を目指した。

法人化以降、大阪大学では、学長を中心とする役員会の下に、それぞれ理事を室長とする総合計画室、教育・情報室、研究・産学連携室、評価室、財務室、人事労務室、広報・社会学連携室、国際交流室の8室を設置し、重要な案件はこれらの室で方針を出し、役員会で承認することにより迅速な対応を行っている。21世紀COEプログラムの遂行に際しては、研究・産学連携室の下にCOEプログラム評価委員会を設け、各プロジェクトの進捗状況を把握、助言を行うとともに、その要望実現のために、他の室に働きかけている。

この21世紀COEプログラム遂行に際して最も大きな要望は、研究スペースの確保であるが、大学の共有施設である先導的研究オープンセンターや、ナノテクノロジー研究棟のオープンスペースを優先的に割り

当てている。

また、研究とともに特に人材育成を強く推奨し、各プロジェクトで若手研究者の経済的な支援ならびに国際的に活躍できる能力の養成プログラム実施が容易になる柔軟な制度を整備した。これにより国内外から多くの著名な研究者を招き講義や研究指導を行うとともに、英語による授業や討論の導入を図り、その単位化ならびに副専攻制度導入にも積極的に取り組んだ。

また、海外への情報発信ならびに国外からの研究者の招聘のために、米国サンフランシスコ教育研究センター、タイ国バンコク教育研究センター、オランダグローニンゲン教育研究センターに海外オフォイスを設置し、教職員を常駐させ、国際化を図っている。

3. 達成状況及び今後の展望

大阪大学の平成15年度採択、実施7拠点は中間評価段階においては、5段階評価において最高評価であるA評価4拠点、B評価3拠点であり、本学の21世紀COEプログラム全体としては、順調に目標達成に向けて進んでいると判断した。個々のプロジェクトについては、評価委員会よりの特記事項について、研究・産学連携室と拠点リーダーで検討し、改善策を講じた。

個々の拠点の目標達成状況については、各拠点の事業報告書に記載しているのでここでは割愛するが、前記の各拠点の目的、目標はいずれも達成され、大きな成果が得られたと認識している。

平成19年度から、21世紀COEプログラムの後継プログラムとして、グローバルCOEプログラム事業が開始され、本学では5分野7件が採択されたところである。

平成15年度採択の21世紀COEプログラムの7拠点についても、その進捗状況、得られた結果と今後の展望について、昨年度と同様に研究・産学連携室で検討するとともに、各拠点よりヒアリングを行った。その結果、いずれの拠点においても優れた成果が得られており、組織等の組み換えは行方が基本的には申請することとした。この過程において、特に中間評価時の特記事項が具体的にいかに改善されているかを重視した。継続6件、新規5件の計11件を申請し、書面審査によるヒアリングに8件が採択されている状況は、本学の21世紀COEプログラムで得られた成果への高い評価の現われである。

大阪大学は、21世紀COEプログラムに限らず、科学振興調整費等の政府系大型プロジェクトの提案、実施に際しては、単にプログラム実施期間における目標達成を図るのみならず、これらプロジェクトを大阪

大学の教育、研究改革の一つの起爆剤と位置づけ、終了後においてもその制度を継続し、大学の活性化に努めている。

21世紀COEプログラムについて言及すれば、従来の部局内、専攻内に閉じた形の研究・教育から、専攻、部局横断型の研究体制が新たに構築され、これがグローバルCOEプログラムへの提案にも繋がっている。

また、単に融合、連携にとどまらず、その教育、研究効果をより発展させるために、専攻の再編といった組織改革にまで発展した拠点もある。その意味において、本学が意図する教育、研究改革の核としての21世紀COEプログラムの果たした役割は大きい。

さらに、このような拠点形成以前は連携が稀であった研究者、学生が集結することにより、新たな大型プロジェクトの立案、文部科学省の教育研究別特別経費への概算要求提案へと発展するとともに、学生に関して言えば、彼ら自身によるシンポジウム、国際会議の実施がなされその教育効果は絶大であった。

この21世紀COEプログラムを実施することで、博士後期課程での進学率が大幅に増加した。これには教育プログラムの充実、海外への派遣制度といった点が寄与しているが、RAとして博士後期課程学生への経済的な支援効果も大きく、今後の我が国の博士後期課程充実、人材育成を考える上でこの制度の拡充が極めて重要である。

また、連携、融合は大学内にとどまることなく、大学の研究シーズ、成果と産業界のニーズとの連携、相互補完的な組織体制への構築に発展した。例えば、本学は従来の寄附講座とは異なる新たな制度として共同研究講座制度を導入した。この制度によれば、企業の研究者が教員として大学内に講座を設置し、本学の教員が兼任でこの講座運営、研究に参画している。これによって基礎研究と応用研究間のギャップ、いわゆる死の谷の克服が容易になっている。この共同研究講座制度を活用し、グローバルCOEプログラムへの新たな発展を図り、センターの設置、専用建物の建設へと発展した拠点もある。

7拠点の多くはグローバルCOEプログラムへと発展すると確信しているが、その選考に漏れた拠点であっても、その活動期間中に優れた成果が得られており、特に学生の海外派遣制度、部局横断型の教育プログラムの実施に関しては、大学独自の資金によって支援し、5年間で得られた成果が終わることなく、継続、発展させるための支援策を今後とも継続する予定である。

21世紀COEプログラム 平成15年度採択拠点事業結果報告書

機 関 名	大阪大学	学長名	鷲田 清一	拠点番号	H12	
1. 申請分野	F<医学系> G<数学、物理学、地球科学> H<機械、土木、建築、その他工学> I<社会科学> J<学際、複合、新領域>					
2. 拠点のプログラム名称 (英訳名)	原子論的生産技術の創出拠点 (ナノメーターレベルの表面創成システムの開発) (Center for Atomistic Fabrication Technology) ※副題を添えている場合は、記入して下さい(和文のみ)					
研究分野及びキーワード	<研究分野: 機械工学 >(生産工学)(超精密加工)(完全表面)(量子力学)(ナノテクノロジー)					
3. 専攻等名	工学研究科(附属超精密科学研究センター、精密科学・応用物理学専攻(精密科学専攻 17.4.1)、生命先端工学専攻(物質・生命工学専攻 17.4.1))					
4. 事業推進担当者	計 31 名					
ふりがなくローマ字) 氏 名	所属部局(専攻等)・職名	現在の専門 学 位	役割分担 (事業実施期間中の拠点形成計画における分担事項)			
(拠点リーダー) Endo Katsuyoshi 遠藤 勝義	工学研究科(附属超精密科学研究センター)・教授	精 密 科 学 ・ 工 学 博 士	原子論的生産システムの構築および拠点の統括			
Mori Yu zo 森 勇藏 (H18.3.31退職)	工学研究科(附属超精密科学研究センター)・客員教授	精 密 科 学 ・ 工 学 博 士	原子論的生産技術全般のアドバイス			
Yoshi Kumasasu 芳井 熊安 (H18.3.31退職)	工学研究科(附属超精密科学研究センター)・特任教授	薄 膜 工 学 ・ 工 学 博 士	プロセス開発に関するアドバイス			
Yasutake Kiyoshi 安武 潔	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻、附属超精密科学研究センター)・教授	材 料 科 学 ・ 工 学 博 士	機能表面創成プロセスの開発			
Morita Mizuho 森田 瑞穂	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・教授	半 導 体 工 学 ・ 工 学 博 士	次世代半導体電子デバイスの開発			
Kataoka Toshihiko 片岡 俊彦	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・教授	光 科 学 ・ 工 学 博 士	新機能光デバイス・システムおよびプロセス制御技術開発			
Kumahara Yu ji 桑原 裕司	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・教授	表面科学・理学博士	ナノファブリケーションおよびナノデバイスの開発			
Yamauchi Kazuto 山内 和人	附属超精密科学研究センター)・教授	超精密加工・工学博士	超精密加工プロセスの開発			
Hirose K i k u j i 広瀬喜久治	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・特任教授	計 算 物 理 ・ 理 学 博 士	大規模計算物理シミュレーションアルゴリズムの開発			
Aono Masakazu 青野 正和 (H17.6.30退職)	工学研究科(生命先端工学専攻)・教授	表面科学・工学博士	ナノファブリケーションおよびナノデバイスの開発			
Watanabe Heiji 渡部 平司 (H17.1.4追加)	工学研究科(生命先端工学専攻、附属超精密科学研究センター)・教授/センター長	薄 膜 工 学 ・ 工 学 博 士	大気圧プラズマプロセスによる機能表面の創成			
Yamamura Kazuya 山村 和也	工学研究科(附属超精密科学研究センター)・准教授	超精密加工・工学博士	機能材料の超精密加工プロセスの開発			
Kakiuchi Hiroaki 垣内 弘章	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・准教授	薄 膜 工 学 ・ 工 学 博 士	大気圧プラズマを用いた高機能薄膜の超高速形成技術の開発			
Nakano Motohiro 中野 元博	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・准教授	計 算 物 理 ・ 工 学 博 士	計算機シミュレーションによるプロセスデザイン			
Sano Yasuhisa 佐野 泰久	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・准教授	超精密加工・工学博士	数値制御プラズマCVMによる次世代半導体電子デバイス用基板の開発			
Tamasaku Kenji 玉作 賢治 (H19.4.2追加)	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・特任准教授	X 線 光 学 ・ 工 学 博 士	放射光を用いた超精密加工面の評価			
Goto Hidekazu 後藤 英和	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻、附属超精密科学研究センター)・准教授	超精密加工・工学博士	超純水のみによる低環境負荷型加工・洗浄技術の開発			
Shimura Takayoshi 志村 考功	工学研究科(生命先端工学専攻)・准教授	放射光科学・工学博士	放射光による表面界面の結晶学的評価			
Zettsu Nobuyuki 是津 信行 (H18.5.31追加)	工学研究科(附属超精密科学研究センター)・助教	材 料 科 学 ・ 工 学 博 士	化学反応に基づくナノファブリケーション			
Ohmi Hirotsugu 大参 宏昌	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻、附属超精密科学研究センター)・助教	材 料 科 学 ・ 工 学 博 士	大気圧プラズマCVDによるSi系薄膜の高効率形成プロセスの開発			
Uchikoshi Junichi 打越 純一 (H17.1.4追加)	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助教	精 密 計 測 ・ 工 学 博 士	超精密形状計測技術の開発			
Arima Kenta 有馬 健太	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助教	表面科学・工学博士	走査型プローブ顕微鏡による各種機能表面原子・電子構造の評価			
Yamauchi Yoshiaki 山内 良昭 (H18.3.31退職)	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助手	精 密 計 測 ・ 工 学 博 士	流れの計測評価によるプロセス制御技術の開発			
Inoue Haruyuki 井上 晴行	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助教	光 科 学 ・ 工 学 博 士	超精密加工・機能表面の光学的手法による計測・評価			
Saito Akira 斎藤 彰	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助教	放 射 光 科 学 ・ 工 学 博 士	放射光を利用した高機能表面計測・評価システムの開発			
Minura Hidekazu 三村 秀和	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助教	超精密加工・工学博士	放射光・EUVL用光学素子の超精密加工と計測・評価			
Ono Tomoya 小野 倫也	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻、附属超精密科学研究センター)・助教	計 算 物 理 ・ 工 学 博 士	第一原理計算による超精密加工プロセスの解明とナノデバイスのデザイン			
Inagaki Kouji 稲垣 耕司 (H18.5.31追加)	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻、附属超精密科学研究センター)・助教	表面科学・工学博士	超精密加工・機能表面の光学的手法による電子論的計測・評価			
Matsuyama Satoshi 松山 智至 (H19.4.2追加)	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助教	放 射 光 科 学 ・ 工 学 博 士	走査型蛍光X線顕微鏡の開発			
Hosoi Takuji 細井 卓治 (H19.4.2追加)	工学研究科(生命先端工学専攻、附属超精密科学研究センター)・助教	半 導 体 工 学 ・ 工 学 博 士	機能薄膜の電気的特性評価			
Akai Megumi 赤井 恵 (H19.4.2追加)	工学研究科(精密科学・応用物理学専攻)・助教	表面科学・理学博士	ナノ有機デバイスの開発			
5. 交付経費(単位:千円) 千円未満は切り捨てる () : 間接経費						
年 度(平成)	1 5	1 6	1 7	1 8	1 9	合 計
交付金額(千円)	188,000	226,300	226,700	212,210 (21,221)	207,000 (20,700)	1,060,210

6. 拠点形成の目的

21世紀の基礎科学や先端産業から、従来の製造技術では製作が不可能な「原子レベルの精度をもった光学素子・電子デバイス等（実用サイズのもの）」が要請されている。原子論的生産技術とは、そのような物を創るための、物理・化学現象を原子・電子論的立場から理解して極限まで活用する、新しい製造プロセスおよび計測評価技術のことである。原子論的生産技術を創出するためには、学問的に総合力が必要である。本拠点では、物理学を基盤にし、材料・加工・計測・制御・計算物理の学問領域を結集した「精密科学」という新しい学問分野を体系化する。

本拠点は、文部省中核的研究拠点形成プログラム（以降前COE；平成8年度から14年度）の実績から、製造プロセスに活用する物理・化学現象を原子・電子論的立場から解明することに始まり、その現象を制御する独創的なプロセス装置を開発し、さらにその装置によって「物」を作り、計測評価するところまでを一貫して研究する「物づくり」の卓越した研究拠点として既に認められている。21世紀COEでは、基礎科学や先端産業の多くの分野と横断的に連携して究極の精度が必要な光学素子や電子デバイス等を製作するために、前COEで完成した独創的な加工・成膜プロセスを活用するとともに、さらに新しい独自の原子論的生産技術を創出することを目的としている。そして、このように最先端の分野から必要とされる、従来技術では製作不可能な「物」の製造技術を継続的に創出するとともに、その最先端研究に若手研究者を参画させることにより次世代を担う研究指導者を育成し、将来とも世界の「物づくり」を常に先導する拠点を形成することを目的とする。

一般に、製造技術は、従来技術を経験に基づき改良を重ねる方法で研究開発される。本拠点のように、科学を規範に、世の中にない新しい概念の最先端生産技術を発想し、それを具現化する独自のプロセス装置を開発し、実際に実用できる「物」を原子レベルの精度で製作できる研究拠点は世界中を見渡しても皆無であり、本拠点を特徴づけるものである。

製造技術の分野では、科学技術の進展に伴い新しい技術シーズが次々と創造され、それを具現化する新しい「物づくり」の技術が絶え間なく要請される。それゆえ、最先端技術に合わせた新しい原子論的生産技術を将来に亘って継続に研究開発しなければならない。一方、大学には、革新的な技術シーズとなる優れた研究成果はあるが、その技術を実用化するための製造技

術が無いために、世の中に役立つまでに至っていない事例が多々ある。本拠点では、優れた技術シーズを有する異分野の研究グループと連携し、シーズを実用化する新しい製造技術を開発して大学の成果を社会に還元することを実践する。このように、我が国でしかない高度な生産技術を開発し、大学の技術シーズが事業化できれば、高付加価値の「物」を生産することになり、日本の産業の生命線である製造業の復活につながる。

本拠点形成による研究の成果としては、世界最高性能の放射光用光学素子や超高速・低消費電力次世代半導体デバイス、高機能薄膜の超高速形成技術、超純水のみによる半導体デバイス製造プロセス等の実現が期待できる。また、異分野と連携して、X線自由電子レーザーや次世代EUV (Extreme Ultra-Violet) リソグラフィ、創薬のための生体細胞観察用X線顕微鏡、次世代半導体材料基板等の未踏領域の開拓に「物づくり」として貢献する。一方、教育の目的は、学生や若手研究者を分野横断の最先端の研究に参画させる実践教育によって、異分野の技術シーズを理解して、それを実化する独創的な製造技術を開発できる、物理学のセンスを持った次世代の「物づくり」研究指導者を育成することによって社会的に貢献することである。



図1 原子論的生産技術の創出拠点の概要

7. 研究実施計画

本拠点では、新たに発想した製造プロセスに関して、利用する物理・化学現象を量子力学に基づくシミュレーションにより原子・電子レベルで解明してプロセスを設計する。そのために、加工や成膜等のプロセスシミュレーションを可能とする高速・高精度の大規模第一原理分子動力学計算プログラムを開発する。また、完全なる再現性を保証するための理想的な物理環境であるウルトラクリーンルームにおいて、発想を確認する基礎的な実証実験を行う。このように、従来の製造技術では不可能な、**原子レベルの精度をもった実用サイズの「物」**を製作する新たな原子論的生産技術を、加工・材料・計測・制御・計算物理の領域が一体となって継続的に研究開発する。

また、21世紀の基礎科学や先端産業においては、あらゆる分野から原子スケールの精度が必要な「物」を製作するための生産技術の開発が求められている。そのために、これまで当該研究グループで独自に開発した図2に示す、原子オーダーで平坦な表面が得られるEEM (Elastic Emission Machining)、大気圧プラズマを用いた無歪高能率加工法であるプラズマCVM (Chemical Vaporization Machining)、機能薄膜の超高速形成が可能な大気圧プラズマCVD (Chemical Vapor Deposition)、超純水のみによる電気化学加工法、超精密非球面形状計測法、および新たに創出する原子論的生産技術を、個々のニーズに応じて効果的に組み合わせることにより実用化のための生産システムとして完成させる。研究開発の方策としては、本拠点を中核として、学内はもとより、学-学連携、官-学連携を図る。これにより、前COEにおける研究成果をさらにステップアップして実用化する研究プロジェクトおよび基礎科学や先端産業等の多くの分野から要請されるキーデバイスおよびプロセスを開発した原子論的生産技術により具現化して貢献する連携研究プロジェクトを推進する。以下に本拠点における研究プロジェクトを列挙する。さらに、図3に将来を見据えた新しい原理に基づく原子論的生産技術の例を示す。

- (1) 生体細胞観察のための超高精度 X 集光線ミラーの作製と硬 X 線ナノ分光イメージングシステムの開発【理化学研究所 (SPring-8)、国立国際医療センター研究所】
- (2) 極端紫外光リソグラフィー用光学素子の開発【国家プロジェクト 極端紫外線露光システム技術開発機構】
- (3) 高効率発光デバイス用 GaN 超平坦化半導体基板の開発【国

家プロジェクト 高効率 UV 光行素子用半導体開発プロジェクト】

- (4) 大気圧プラズマによる機能薄膜の高能率形成技術の開発【国内民間企業】
- (5) 半導体デバイス製造のための超純水のみによる低環境負荷型加工・洗浄プロセスの開発【国内民間企業】
- (6) 最先端半導体デバイスの開発【国内民間企業】
- (7) 自己組織化デバイスの開発【物質・材料研究機構】
- (8) 極端紫外光源の開発
- (9) 新しい超精密形状計測法の開発【高エネルギー加速器研究機構】
- (10) 表面ナノスケール計測技術の開発と応用
- (11) 超精密加工プロセス第一原理シミュレーション
- (12) 第一原理シミュレーションによるナノスケール構造の機能予測【国際共同研究】
- (13) 新しい原子論的生産技術の創出

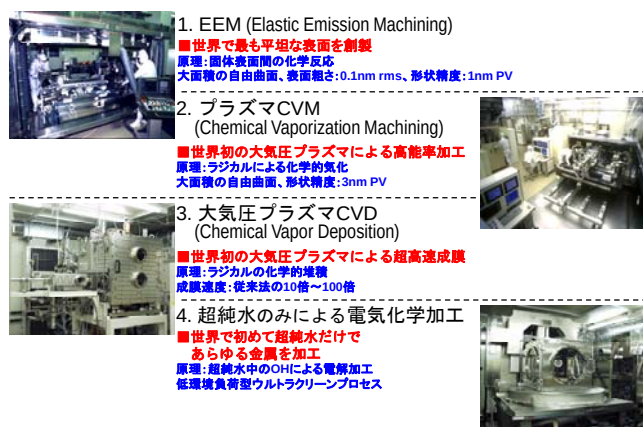


図2 開発に成功した独創的な原子論的生産技術

1	CARE(Catalyst-Referred Etching)
2	LWE(Local Wet Etching)
3	大気開放型プラズマCVM(Chemical Vaporization Machining)
4	APECT(Atmospheric Pressure Enhanced Chemical Transport)
5	多孔質カーボン電極大気圧プラズマCVD

図3 21世紀COEで開発された新しい原子論的生産技術

8. 教育実施計画

拠点における教育目標は、様々な基礎科学や先端技術分野で必要とされる「物」を原子論的生産技術の研究開発によって具現化し、実用化する能力を有する人材を育成することにある。

基礎研究の成果、いわゆる技術シーズを実用化し、基礎科学や先端産業に役立てるためには、そのアイデアを具現化する「物」を実際に製作する必要がある。しかし、その多くは原子レベルでの形状精度・表面粗さや、高度に制御された物性が要求され、既存の製造技術の応用と改良のみで製作することは不可能である。したがって、これまでに無い独創的な「物づくり」技術を開発することによって、原子レベルで高精度な「物」を製作し、技術シーズを実用化して事業化に結びつける能力の育成が必要である。

また、基礎科学や先端産業の様々な分野から要求される先端科学機器を具現化するためには、異分野間の横断型連携研究の推進が必要であり、分野の垣根を越えて学問や技術を理解し、実用化に必要な「物づくり」技術の開発を推進できる能力の育成が必要である。

以上のような能力の育成は、既成の学問、技術、知識の習得だけにとどまる教科書的教育や、他の研究者の報告を鵜呑みにした物まね的研究を通じた教育では不可能である。既成概念にとらわれない独創的な「物づくり」技術を、科学的根拠に基づいて開発できる能力の育成には、あらゆる物理・化学現象を科学的に解き明かし、本質を理解し、原子レベルの精度の「物づくり」技術に応用するという、本拠点が行う世界最高レベルの「物づくり」研究に携わらせる実践教育こそが必要不可欠である。これまでに、前COEにより構築された超精密加工研究拠点ウルトラクリーンルーム等の最先端研究施設・装置を利用した最先端の「物づくり」研究プロジェクトに携わらせることで、加工・材料・計測・制御・計算物理という「原子論的生産技術」による「物づくり」に必要な総合力を養う実践教育を行っており、実用化研究ができる優秀な人材を育成・輩出してきた実績がある。このような人材育成を継承・発展させるためには、博士課程までの長期間教育が必要である。そこで、本拠点においては、優秀な学生に対して早期から先端的研究活動に参画させることにより、博士課程進学への動機付けを行う。また、社会人からも「物づくり」研究への情熱を持った人材を幅広く募る。以上の見地と実績に基づき、図4に示すような三つの教育プログラムを実施する。すなわち、事業化研究リーダー育成プログラムでは、民

間企業の研究・開発者を博士後期課程学生または研究員として受入れ、事業化実践教育を実施する。また、博士・修士課程および学部学生を対象とする横断型異分野連携人材育成プログラムでは、中・長期滞在型派遣制度と異分野研究者交流制度を推進する。エリート研究者発掘・育成プログラムでは、最先端実践教育プログラムと学部3年生を対象とするトップ8制度、「物づくり」基盤教育プログラム、公募型若手研究者支援、博士課程学生研究員補助を遂行する。

さらに、これら人材育成プログラムの機能のさらなる強化のため、図5に示す、すべての教育プログラムのベースとなる連携型技術教育研究システムを立ち上げる。また、本システムをベースとする一連の教育制度は事業終了後も引き続き実施し、ウルトラクリーン実験施設の将来に亘る有効活用のための外部連携へと発展させる。

目標：「原子論的生産技術」の研究開発能力をもつ研究指導者の育成

1. 事業化研究リーダー育成プログラム

技術シーズの事業化推進能力の育成

・産学連携による事業化研究を通じた社会人の教育

2. 横断型異分野連携人材育成プログラム

異分野の研究を理解し、その推進に必要な「物づくり」ができる能力の育成

・国内外の連携先への中・長期滞在型派遣制度

3. エリート研究者発掘・育成プログラム

「物づくり」を原子・電子レベルから思考する能力の育成

・能力選抜制による学部3年生からの最先端研究への早期参画
・競争的研究資金支援制度

図4 人材育成プログラム

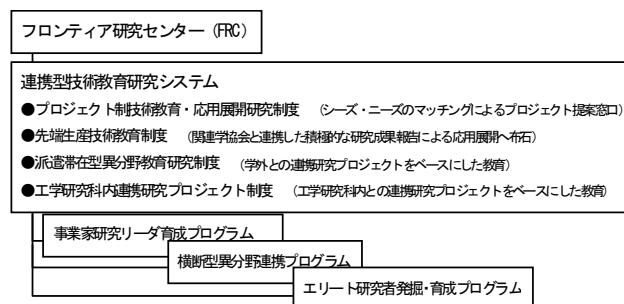


図5 連携型技術教育研究システムによる教育システムの強化

9. 研究教育拠点形成活動実績

①目的の達成状況

1) 世界最高水準の研究教育拠点形成計画全体の目的達成度

「原子論的生産技術の創出拠点」の目標として、これまで独自に開発した製造プロセスであるEEM (Elastic Emission Machining) やプラズマCVM、大気圧プラズマCVD、超純水のみによる洗浄および電気化学加工法の応用展開を掲げた。まず、EEMとプラズマCVMに関しては、波長0.8Åの硬X線用集光ミラーを開発し、SPring-8において世界最小集光径25nmを達成した。また、EEMでは、国家プロジェクト「極端紫外線露光システム技術開発機構 (Extreme Ultraviolet lithography system development association; EUVA)」に参画して、EUV用光学素子の最終仕上げ加工の要求仕様である表面粗さが0.15nmRMS以下、加工速度が従来の100倍を達成した。プラズマCVMでは、国家プロジェクト「高効率UV発光素子用半導体開発」において、エピタキシャル成長前のGaN半導体基板の超平坦化に成功し、デバイス特性を向上した。大気圧プラズマCVD、超純水のみによる洗浄・電気化学加工法に関しては、民間企業との共同研究を実施し、実用化に繋がる成果を上げた。もう一つの目標である、**新しい原子論的生産技術の開発**では、①触媒反応援用研磨法や②ローカルウェットエッチング法、③大気開放型プラズマCVM、④大気圧プラズマ化学的移送法、⑤多孔質カーボン電極大気圧プラズマCVD、⑥数値制御大気圧プラズマ犠牲酸化法を新規に発想し、その技術開発に成功した。それぞれのプロセス技術は、**すべてが民間企業との連携またはNEDO産業技術助成を受けている**。産業界での実用化に向けて順調に研究開発が進捗した。

教育では、様々な基礎科学や先端産業の分野で必要とされる「物」を原子論的生産技術の研究開発によって具現化し、実用化する人材を育成することを目標とした。そこで、アカデミックポジションに就く研究者のみならず、産業界において製造技術の研究開発を担う**即戦力となる博士課程の学生を研究開発プロジェクトに参画させて実践教育を実施した**。その結果、博士課程へ進学する学生が増え、学生の国際会議、論文の発表件数が大幅に増加した。また、若手研究者は、JSTさきがけ研究者が3名、海外留学者が3名等、成長は目覚ましい。

また、平成19年5月には、本拠点の成果を応用して社会貢献するために、「電子デバイス生産技術共同研

究講座 (シャープ株式会社)」が設立した。本21世紀COEで開発された製造技術を液晶ディスプレイや太陽電池等の電子デバイスの生産技術に活用することを目的としている。本拠点の成果を新しい生産技術として産業界に発信するためにも共同研究講座の意義は大きい。このように、本拠点は「**目的は十分達成した**」と総括できる。

2) 人材育成面での成果と拠点形成への寄与

本拠点では、事業化研究リーダー育成プログラムと横断型異分野連携研究プログラム、エリート研究者発掘・育成プログラムを実施し、特筆すべき多くの成果を上げた。これら人材育成プログラムの機能のさらなる強化のため、すべての教育プログラムのベースとなる**連携型技術教育研究システム**を立ち上げた。本システムでは、**プロジェクト型技術教育・応用展開制度を基軸として、先端生産技術教育制度、派遣滞在型教育研究制度、工学研究科内連携研究推進制度を併設する**。これらのシステムをベースとする一連の教育制度は、大阪大学大学院工学研究科フロンティア研究機構を基礎に設置されるフロンティア研究センターとの整合を視野に、ウルトラクリーン実験施設の将来に亘る有効活用する外部連携へと発展させた。

3) 研究活動面での新たな分野の創成や、学術的知見等

本拠点の目標として、独自に開発した製造プロセスであるEEM (Elastic Emission Machining) やプラズマCVM、大気圧プラズマCVD、超純水のみによる洗浄・電気化学加工法の応用展開を当初掲げていた。まず、EEMとプラズマCVMに関しては、波長0.8Å (15keV) の硬X線用集光ミラーを開発し、SPring-8において世界最小集光径25nmを達成した。このように、**硬X線ミラーの加工と計測に関しては、世界最高である**。特に、次世代の放射光やX線自由電子レーザー、中性子ビーム等の光学素子の開発に関しては、SPring-8、J-PARC、APS (米国)、ESRF (EU)、ONL (米国) 等からは、**X線、中性子線光学素子を開発できる世界唯一の拠点と認められている**。また、生体細胞観察用顕微鏡システムを開発し、SPring-8に走査型蛍光X線顕微鏡を完成させ、高感度・高分解能元素マッピング技術を確立した。国立国際医療センター研究所と共同で実験を実施し、細胞内や、X線CT観察による毛根の断面観察等に成功し、医学・生物学へ応用した実績を持つ。さらに、EEMでは、「極端紫外線露光システム技術開発機構」に参画して、EUV用光学素子の最終仕上げ加工の要求仕様を

満たすことに成功した。EEMは、EUVL用光学素子の最終仕上げ加工として活用されることが決定し、民間企業への技術移転にも成功した。プラズマCVMでは、「高効率UV発光素子用半導体開発」において、エピタキシャル成長前のGaN半導体基板の超平坦化に成功し、デバイス特性を向上した。このように、**二つの国家プロジェクトにおいて、それぞれ成功に導いており、社会的貢献は極めて高い**。また、大気圧プラズマCVD、超純水のみによる洗浄および電気化学加工法に関しては、**民間企業との共同研究を実施し、実用化に繋がる成果を上げた**。

「原子論的生産技術の創出」を理論的に支える第一原理シミュレーションでは、独自に開発した高速・高精度電子状態計算手法に基づく第一原理計算プログラムを作成し、各種超精密加工法や成膜法における反応過程の解析に成功した。第一原理シミュレーションによるナノスケール構造の機能予測では、量子力学の第一原理に基づく電気伝導特性・電場応答計算手法を完成させ、これを用いて走査型トンネル顕微鏡の電流経路解析や半導体デバイス絶縁用薄膜のリーク電流解析を行った。これらの成果は、First-Principles Calculations in Real-Space Formalism -Electronic Configurations and Transport Properties of Nanostructures-, (Imperial College Press, London, UK, 2005)に執筆されている。このように、**反応設計や機能予測を可能にする新しい量子力学に基づく第一原理シミュレーションアルゴリズムの開発では、世界をリードしている**。

もう一つの目標である、**新しい原子論的生産技術の開発**では、①触媒反応援用研磨法や②ローカルウェットエッチング法、③大気開放型プラズマCVM、④大気圧プラズマ化学的移送法、⑤多孔質カーボン電極大気圧プラズマCVD、⑥数値制御大気圧プラズマ犠牲酸化法を新規に発想し、その技術開発に成功した。その結果、SiCとGaN基板表面の平坦化、大型液晶用マスク基板の平坦化、水晶振動子薄片化、金属級Siの高純度化、エピタキシャルSiの低温形成、SOIの薄膜化に着手した。それぞれのプロセス技術は、すべてが民間企業との連携またはNEDO産業技術助成を受けている。**産業界での実用化に向けて順調に研究開発が進捗している**。

他の外部研究機関との連携では、高エネルギー加速器研究機構と超精密形状測定装置を開発することに成功し、東北大学未来科学技術共同研究センターとSi(110)表面を平坦化する新しいプロセスの開発に成功した。CMOSFETの作製に成功し、アナログ/デジタ

ル混載デバイスへの応用等、**半導体産業での期待は大きい**。

4) 事業推進担当者相互の有機連携

本COEを推進するに当たり、精密科学・応用物理学専攻に属する6研究領域および超精密科学研究センター、生命先端工学専攻の1領域では、「一国一城」といわれる研究室の壁を取り除いた。その結果、**高いレベルで若手研究者間の自由な交流が可能になった**。また、共同で実施する研究プログラムの進展に沿って、より有機的な研究者間の連携を可能とするため、7名の教員が研究領域間を移動した。

一方、教育研究活動の状況を組織的に把握・改善するため、**週1回、事業推進担当者全員が参加する全体ミーティングを開催し、各研究プロジェクトと教育プログラムの進捗状況の評価を行い、研究者間での情報の共有を徹底した**。これにより、各研究領域間や、超精密科学研究センターとの間での有機的な研究連携が促進された。これらの取り組みの成果は、**異なる研究室に属する研究者による共著論文の発表比率が全体の61%に達していることから明白である**。総合力が必要な物づくり研究に求められる研究者間の有機的連携は、十分に進んでいる。

5) 国際競争力ある大学づくりへの貢献度

世界の大学、民間企業で多くの製造技術の研究開発が進められている。しかし、そのほとんどは従来技術を経験に基づき改良を重ねる方法をとっている。たとえば、航空・宇宙関連や半導体デバイスの最先端製造技術の研究を実施している米国のローレンス・リバモア国立研究所やサンディア国立研究所、バークレー国立研究所では、光学ミラーやレンズを、超精密切削や精密研削、研磨加工等の従来の機械加工技術を高精度化することで作り上げようとしている。したがって、本拠点とは研究開発の思想が根本的に異なる。本拠点のように、科学を規範に世の中にない新しい概念の最先端生産技術を発想し、それを具現化した独自のプロセス装置を開発し、そのまま実用できる「物」を原子レベルの精度で実際に製作できる研究拠点は世界中を見渡しても皆無である。

本研究拠点では、**ナノメートルレベルの「物づくり」技術で世界をリードし、国際競争力のある大学づくりに大きく貢献している**。

6) 国内外に向けた情報発信

本拠点の優れた研究成果は、社会への積極的な公表のために情報発信を国際会議の開催や展示会等への出展によって実施した。また、高校生の研究設備の見学・実習を通じて若者の科学教育にも注力した。さらに、超精密科学研究センターの建物である21世紀プラザ完成記念式典を開催し、本21世紀COEプログラムとウルトラクリーン実験施設を広く社会に紹介した。

国際会議は8件、国内会議は10件開催し、展示会には12件出展した。また、国際会議の開催に伴い、国際論文誌2件で特集号を発行した。

7) 拠点形成費等補助金の使途について(拠点形成のため効果的に使用されたか)

研究施設および設備に関しては、初年度の平成15年度には研究開発および教育環境の整備に力を注ぎ、その結果世界最高性能の研究開発用ウルトラクリーン実験施設（プロセスフロア面積：440m²）を平成16年3月に完成させた。これで、新しい原子論的生産技術開発の基礎研究を前COEで設置したウルトラクリーンルーム（415m²）で推進し、応用研究、特に企業との実用化研究をウルトラクリーン実験施設で実施する体制が整った。平成15、16年度には、実用化を目指した装置として、数値制御プラズマCVM装置および大気圧プラズマCVD装置を新規に開発し、民間企業との共同研究に活用した。平成17～19年度には、拠点での研究開発および博士課程学生の研究教育のための汎用共通設備であるFIB、XPS、SEM、TEMを導入した。前COEで開発・導入した実験設備も含めて充実した施設・設備に関しては、世界最高水準の「物づくり」研究教育拠点と評価できる。このように、補助金は効果的に使用された。

②今後の展望

本拠点は、前COE(平成8年度から14年度)の実績により、製造プロセスに活用する物理・化学現象を原子・電子論的立場から解明することに始まり、その現象を制御する独創的なプロセス装置を開発し、なおかつその装置によって「物」を作り、計測評価するところまでを一貫して研究する「物づくり」の卓越した研究拠点として既に認められている。21世紀COEでは、基礎科学や先端産業の多くの分野と横断的に連携して、究極の精度が必要な光学素子や電子デバイス等を製作するために、前COEで完成した独創的な加工・成膜プロセスを活用するとともに、さらに新しい独自の原子

論的生産技術を創出する目的を達成した。今後も、最先端の分野から必要とされる、従来技術では製作不可能な「物」の製造技術を継続的に創出するとともに、その最先端研究に若手研究者を参画させることから次世代を担う研究指導者を育成し、**将来とも世界の「物づくり」を常に先導する拠点として継続的に発展することが期待される。**

③その他(世界的な研究教育拠点の形成が学内外に与えた影響度)

ナノメーターレベルの「物づくり」については、世界の大学、民間企業で多くの研究開発が進められているが、ほとんどは従来技術の延長線上を経験に基づき改良を重ねる方法をとっている。したがって、原子レベルの精度をもった製造プロセスを、活用する物理・化学現象を原子・電子レベルの根源から思考して最先端生産技術を継続的に開発する本拠点は、他とは一線を画す。また、国内外の研究機関からX線、中性子線光学素子を開発できる世界唯一の拠点と認められている。

今後も、宇宙やバイオテクノロジー、医療、電子・情報、環境・エネルギーなどの最先端の研究を実施している他大学や他研究機関の異分野の研究グループと学-学、官-学、産-学の連携・協力を積極的に実施し、それぞれの未踏分野を切り拓くために不可欠な**光・電子デバイスを開発することから、世界的な研究成果を社会に示すことが期待できる。**

21世紀COEプログラム 平成15年度採択拠点事業結果報告書

機 関 名	大阪大学	拠点番号	H12
拠点のプログラム名称	原子論的生産技術の創出拠点（ナノメートルレベルの表面創成システムの開発）		
1. 研究活動実績			
①この拠点形成計画に関連した主な発表論文名・著書名【公表】			
・事業推進担当者（拠点リーダーを含む）が事業実施期間中に既に発表したこの拠点形成計画に関連した主な論文等（著書、公刊論文、学術雑誌、その他当該プログラムにおいて公刊したもの） ・本拠点形成計画の成果で、ディスカッション・ペーパー、Web等の形式で公開されているものなど速報性のあるもの ※著者名（全員）、論文名、著書名、学会誌名、巻（号）、最初と最後の頁、発表年（西暦）の順に記入 波下線（<u> </u>）：拠点からコピーが提出されている論文 下線（<u> </u>）：拠点を形成する専攻等に所属し、拠点の研究活動に参加している博士課程後期学生			
[1]	M. Akai-Kasaya, K. Shimizu, Y. Watanabe, A. Saito, M. Aono and Y. Kuwahara, Electronic Structure of a Polydiacetylene Nanowire Fabricated on Highly Ordered Pyrolytic Graphite, Phys. Rev. Lett. 91, 255501-255505 (2003).		
[2]	K. Yamauchi, K. Yamamura, H. Mimura, Y. Sano, A. Saito, K. Endo, A. Souvorov, M. Yabashi, K. Tamasaku, T. Ishikawa and Y. Mori, Two-dimensional Submicron Focusing of Hard X-rays by Two Elliptical Mirrors Fabricated by Plasma Chemical Vaporization Machining and Elastic Emission Machining, Jpn. J. Appl. Phys. Part1 42 (11), 7129-7134 (2003).		
[3]	T. Ono and K. Hirose, First-principles study on field evaporation for silicon atom on Si(001) surface, J. Appl. Phys. 95, 1568-1571 (2004).		
[4]	H. Watanabe, Roughness at ZrO ₂ /Si Interfaces Induced by Accelerated Oxidation due to the Metal Oxide Overlayer, Appl. Phys. Lett. 83, 4175-4177, (2003).		
[5]	K. Endo, T. Ono, K. Arima, Y. Uesugi, K. Hirose, Y. Mori, Atomic Structure of Si(001)-c(4 x 4) Formed by Heating Processes after Wet Cleaning and its First-Principles Study, Jpn. J. Appl. Phys. Part1 42 (7B), 4646-4649 (2003).		
[6]	K. Yamamura, K. Yamauchi, H. Mimura, Y. Sano, A. Saito, K. Endo, A. Souvorov, M. Yabashi, K. Tamasaku, T. Ishikawa, and Y. Mori, Fabrication of elliptical mirror at nanometer-level accuracy for hard x-ray focusing by numerically controlled plasma chemical vaporization machining, Rev. Sci. Instrum. 74 (10), 4549-4553 (2003).		
[7]	K. YASUTAKE, H. OHMI, H. KAKIUCHI, H. WATANABE, K. YOSHII, Y. MORI, Size and Density Control of Crystalline Ge Islands on Glass Substrates by Oxygen Etching, Jpn. J. Appl. Phys. 43 (12A), L1552-L1554 (2004).		
[8]	S. Morita, A. Shinozaki, T. Okazaki, K. Nishimura, S. Urabe, and M. Morita, Tunneling Current through Ultrathin Silicon Dioxide Films under Light Exposure, Jpn. J. Appl. Phys. 43 (11B), 7857-7860 (2004).		
[9]	K. Arima, H. Kakiuchi, M. Ikeda, K. Endo, M. Morita and Y. Mori, Scanning tunneling microscopy/spectroscopy observation of intrinsic hydrogenated amorphous silicon surface under light irradiation, Surf. Sci. 572 (2-3), 449-458 (2004).		
[10]	K. Arima, J. Katoh and K. Endo, Atomic-scale analysis of hydrogen-terminated Si(110) surfaces after wet cleaning, Appl. Phys. Lett. 85 (25), 6254-6256 (2004).		
[11]	K. Takami, J. Mizuno, M. Akai-kasaya, A. Saito, M. Aono, Y. Kuwahara, Conductivity Measurement of Polydiacetylene Thin Films by Double-Tip Scanning Tunneling Microscopy, J. Phys. Chem. B 108(42), 16353-16356 (2004).		
[12]	K. Takami, M. Akai-kasaya, A. Saito, M. Aono, Y. Kuwahara, Construction of Independently Driven Double-Tip Scanning Tunneling Microscope, Jpn. J. Appl. Phys. 44 (3A), L120-L122 (2004).		
[13]	T. Sasaki, Y. Egami, T. Ono, and K. Hirose, First-principles calculation of transport properties of single-row aluminum nanowires suspended between semi-infinite crystalline electrodes, Nanotechnology 15(11), 1882-1885 (2004).		
[14]	H. Watanabe, M. Saito, N. Ikarashi, and T. Tatsumi, High-Quality HfSiO Gate Dielectrics Fabricated by Solid Phase Interface Reaction Between Physical-Vapor-Deposited Metal-Hf and SiO ₂ Underlayer, Appl. Phys. Lett. 85, 449-451 (2004).		
[15]	H. Komoda, M. Yoshida, Y. Yamamoto, K. Iwasaki, H. Watanabe, and K. Yasutake, Charge Neutralization Using Focused 500eV Electron Beam in Focused Ion Beam System, Jpn. J. Appl. Phys. 44, L515-L517 (2005).		
[16]	H. Kakiuchi, Y. Nakahama, H. Ohmi, K. Yasutake, K. Yoshii, Y. Mori, Investigation of deposition characteristics and properties of high-rate deposited silicon nitride films prepared by atmospheric pressure plasma chemical vapor deposition, Thin Solid Films 479, 17-23 (2005).		
[17]	K. Arima, J. Katoh, S. Horie, K. Endo, T. Ono, S. Sugawa, H. Akahori, A. Teramoto and T. Ohmi, Hydrogen termination of Si(110) surfaces upon wet cleaning revealed by highly resolved scanning tunneling microscopy, J. Appl. Phys. 98 (10), 103525 1-8 (2005).		
[18]	K. Takami, Y. Kuwahara, T. Ishii, M. Akai-Kasaya, A. Saito, M. Aono, Significant increase in conductivity of polydiacetylene thin film induced by iodine dopin, Surf. Sci. 591, L273-L279 (2005).		
[19]	T. Uemura, S. Yamaguchi, M. Akai-Kasaya, A. Saito, M. Aono, and Y. Kuwahara, Tunneling-current-induced light emission from individual carbon nanotubes, Surf. Sci. 600, L15-L19 (2006).		
[20]	M. Akai-Kasaya, K. Nishihara, A. Saito, M. Aono, Y. Kuwahara, Quantum Point Contact Switches Using Silver Particles, Appl. Phys. Lett. 88, 023107 (2006).		
[21]	K. Yamauchi, K. Yamamura, H. Mimura, Y. Sano, A. Saito, K. Ueno, A. Souvorov, K. Tamasaku, M. Yabashi, T. Ishikawa, Y. Mori, Wave-optical evaluation of interference fringes and wavefront phase in hard X-ray beam totally reflected by mirror optics, Appl. Opt. 44, 6927-6932 (2005).		
[22]	S. Matsuyama, H. Mimura, H. Yumoto, K. Yamamura, Y. Sano, K. Endo, Y. Mori, M. Yabashi, K. Tamasaku, Y. Nishino, T. Ishikawa and K. Yamauchi, Diffraction-limited two-dimensional hard-X-rays focusing in 100nm level using K-B mirror arrangement, Rev. Sci. Instrum. 76, 083114 (2005).		
[23]	M. Shimura, A. Saito, S. Matsuyama, T. Sakuma, Y. Terui, K. Ueno, H. Yumoto, K. Yamauchi, K. Yamamura, H. Mimura, Y. Sano, M. Yabashi, K. Tamasaku, K. Nishio, Y. Nishino, K. Endo, K. Hatake, Y. Mori, Y. Ishizaka and T.		

- Ishikawa, Element Array by Scanning X-ray Fluorescence Microscopy after Cis-Diamminedichloro-Platinum(II) Treatment, *Cancer Res.* 65 (12), 4998-5002 (2005).
- [24] A. Kubota, H. Mimura, K. Inagaki, K. Arima, Y. Mori, K. Yamauchi, Preparation of Ultrasmooth and defect-free 4H-SiC(0001) Surfaces by Elastic Emission Machining, *J. Electron. Mater.* 34(4), 439-443 (2005).
- [25] Y. Egami, T. Sasaki, T. Ono, and K. Hirose, First-principles study on electron-conduction in sodium nanowire, *Nanotechnology* 16(5), S161-S164 (2005).
- [26] T. Ono and K. Hirose, First-Principles Study of Electron-Conduction Properties of Helical Gold Nanowires, *Phys. Rev. Lett.* 94(20), 206806 (2005).
- [27] Y. Mori, K. Yamamura, K. Endo, K. Yamauchi, K. Yasutake, H. Goto, H. Kakiuchi, Y. Sano and H. Mimura, Creation of perfect surfaces, *J. Cryst. Growth* 275, 39-50 (2005).
- [28] T. Ono and K. Hirose, Real-space electronic-structure calculations with a time-saving double-grid technique, *Phys. Rev. B* 72(8), 085115 (2005).
- [29] T. Shimura, K. Yasutake, M. Umeno and M. Nagase, X-ray diffraction measurements of internal strain in Si nanowires fabricated using a self-limiting oxidation process, *Appl. Phys. Lett.* 86, 071903 (2005).
- [30] S. Horie, K. Arima, K. Hirose, J. Katoh, T. Ono, and K. Endo, First-principles study on scanning tunneling microscopy images of different hydrogen-terminated Si(110) surfaces, *Phys. Rev. B* 72 (15), 113306-113309 (2005).
- [31] H. Kakiuchi, H. Ohmi, M. Aketa, K. Yasutake, K. Yoshii and Y. Mori, Effect of hydrogen on the structure of high-rate deposited SiC on Si by atmospheric pressure plasma chemical vapor deposition using high-power-density condition, *Thin Solid Films* 496, 259-265 (2006).
- [32] H. Hara, Y. Sano, H. Mimura, K. Arima, A. Kubota, K. Yagi, J. Murata, K. Yamauchi, Novel Abrasive-Free Planarization of 4H-SiC(0001) Using Catalyst, *J. Electron. Mater.* 35, L11-L14 (2006).
- [33] S. Matsuyama, H. Mimura, H. Yumoto, K. Yamamura, Y. Sano, M. Yabashi, Y. Nishino, K. Tamasaku, T. Ishikawa, K. Yamauchi, Development of scanning X-ray fluorescence microscope with spatial resolution of 30nm using K-B mirrors optics, *Rev. Sci. Instrum.* 77, 103102 (2006).
- [34] H. Yumoto, H. Mimura, S. Matsuyama, S. Handa, Y. Sano, M. Yabashi, Y. Nishino, K. Tamasaku, T. Ishikawa, K. Yamauchi, At-wavelength figure metrology for hard x-ray focusing mirrors, *Rev. Sci. Instrum.* 77, 063712 (2006).
- [35] K. Inagaki, T. Miyata, K. Endo, K. Hirose and Y. Mori, Differential reflectance spectrum measurement to evaluate defects introduced by wet cleaning process, *Physica B* 376-377, 922-925 (2006).
- [36] T. Ono, S. Horie, K. Endo, and K. Hirose, First-principles study of the tunnel current between a scanning tunneling microscopy tip and a hydrogen-adsorbed Si(001) surface, *Phys. Rev. B* 73(24), 245314 (2006).
- [37] T. Sasaki, T. Ono, and K. Hirose, Order-N first-principles calculation method for self-consistent ground-state electronic structures of semi-infinite systems, *Phys. Rev. E* 74(5), 056704 (2006).
- [38] T. Ono and K. Hirose, First-Principles Study on Electron-Conduction Properties of C60 Bridges, *Phys. Rev. Lett.* 98(2), 026804 (2007).
- [39] T. Shimura, M. Shimizu, S. Horiuchi, H. Watanabe, K. Yasutake, and M. Umeno, Self-limiting oxidation of SiGe alloy on silicon-on-insulator wafers, *Appl. Phys. Lett.* 89, 111923-1-3 (2006).
- [40] J. Katoh, K. Arima, A. Kubota, H. Mimura, K. Inagaki, Y. Mori, K. Yamauchi and K. Endo, Atomic-Scale Evaluation of Si(111) Surfaces Finished by the Planarization Process Utilizing SiO₂ Particles Mixed with Water, *J. Electrochem. Soc.* 153 (6), G560-G565 (2006).
- [41] H. Kakiuchi, H. Ohmi, M. Harada, H. Watanabe, and K. Yasutake, Significant enhancement of Si oxidation rate at low temperatures by atmospheric pressure Ar/O₂ plasma, *Appl. Phys. Lett.* 90, 151904 (2007).
- [42] H. Ohmi, H. Kakiuchi, Y. Hamaoka and K. Yasutake, SILICON FILM FORMATION BY CHEMICAL TRANSPORT IN ATMOSPHERIC-PRESSURE PURE HYDROGEN PLASMA, *J. Appl. Phys.* 102 (2), 023302 1-8 (2007).
- [43] H. Kakiuchi, H. Ohmi, M. Harada, H. Watanabe, and K. Yasutake, Low-temperature formation of SiO₂ layers using a two-step atmospheric pressure plasma-enhanced deposition-oxidation process, *Appl. Phys. Lett.* 91, 161908 (2007).
- [44] T. Ikuta, S. Fujita, H. Iwamoto, S. Kadomura, T. Shimura, H. Watanabe, and K. Yasutake, Suppression of surface segregation and heavy arsenic doping into silicon during selective epitaxial chemical vapor deposition under atmospheric pressure, *Appl. Phys. Lett.* 91, 092115 (2007).
- [45] T. Shigetoshi, H. Inoue, T. Kawashima, T. Hirokane, T. Kataoka, M. Morita, and K. Arima, Microscratches with Depths of Angstrom Order on Si Wafers Detected by Light Scattering and AFM, *Electrochem. Solid State Lett.* 10 (7), H206-H209 (2007).
- [46] T. MATSUURA, S. OKAGAKI, T. NAKAMURA, Y. OSHIKANE, H. INOUE, M. NAKANO and T. KATAOKA, Measurement Accuracy in Phase-Shifting Point Diffraction Interferometer with Two Optical Fibers, *Opt. Rev.* 14, 401-405 (2007).
- [47] T. Uemura, M. Furumoto, T. Nakano, M. Akai-Kasaya, A. Saito, M. Aono, Y. Kuwahara, Local-Plasmon-Enhanced Up-Conversion Fluorescence from Copper Phthalocyanine, *Chem. Phys. Lett.* 448 (4), 232-236 (2007).
- [48] K. Arima, H. Hara, J. Murata, T. Ishida, R. Okamoto, K. Yagi, Y. Sano, H. Mimura, and K. Yamauchi, Atomic-scale flattening of SiC surfaces by electroless chemical etching in HF solution with Pt catalyst, *Appl. Phys. Lett.* 90 (20), 202106 (2007).
- [49] H. Mimura, H. Yumoto, S. Matsuyama, Y. Sano, K. Yamamura, Y. Mori, M. Yabashi, Y. Nishino, K. Tamasaku, T. Ishikawa, K. Yamauchi, Efficient focusing of hard x-rays to 25nm by a total reflection mirror, *Appl. Phys. Lett.* 90, 051903 (2007).
- [50] A. Kubota, Y. Shinbayashi, H. Mimura, Y. Sano, K. Inagaki, Y. Mori and K. Yamauchi, Investigation of Surface Removal Process of Silicon Carbide in Elastic Emission Machining, *J. Electron. Mater.* 36, 92-97 (2007).
- [51] Y. Sano, K. Yamamura, H. Mimura, K. Yamauchi, and Y. Mori, Fabrication of ultrathin and highly uniform silicon on insulator by numerically controlled plasma chemical vaporization machining, *Rev. Sci. Instrum.* 78, 086102 (2007).
- [52] Y. Ichii and H. Goto, Fabrication of flat silicon surfaces using ion-exchange particles in ultrapure water, *Electrochim. Acta* 52, 2927-2932 (2007).
- [53] Y. Egami, S. Aiba, K. Hirose and T. Ono, Relationship between geometric structure and conductance oscillation in nanowires, *J. Phys.-Condens. Matter* 19, 365201 (2007).
- [54] H. Watanabe, S. Horie, T. Minami, N. Kitano, M. Kosuda, T. Shimura, and K. Yasutake, Impact of Physical Vapor Deposition-Based In situ Fabrication Method on Metal/High-k Gate Stacks, *Jpn. J. Appl. Phys.* 46, 1910-1915 (2007).

②国際会議等の開催状況【公表】

（事業実施期間中に開催した主な国際会議等の開催時期・場所、会議等の名称、参加人数（うち外国人参加者数）、主な招待講演者（3名程度））

本拠点の教育・研究活動に関連し、下記6件を含む全19件のシンポジウム、ワークショップ、セミナー等を開催した。

[1]

- 【会議の名称】 21世紀COEプログラム「原子論的生産技術の創出拠点」第1回シンポジウム
「SiC 半導体デバイス技術の現状と将来展望」
- 【開催時期・場所】 2003年10月29日・新大阪シティプラザ
- 【参加人数】 50名
- 【主な招待講演者】 ①荒井 和雄（産業技術総合研究所）
②土田 秀一（電力中央研究所）
③北畠 真（松下電器産業）

[2]

- 【会議の名称】 21世紀COEプログラム「原子論的生産技術の創出拠点」国際ワークショップ
「イオンビーム応用プロセス」
- 【開催時期・場所】 2005年11月28日・大阪大学 工学研究科
- 【参加人数】 50名（うち外国人参加者5名）
- 【主な招待講演者】 ① A. Schindler (The Leibniz Inst. Surf. Modif., Germany)
② 松井 真二 (兵庫県立大学)

[3]

- 【会議の名称】 21世紀COEプログラム「原子論的生産技術の創出拠点」国際シンポジウム
- 【開催時期・場所】 2006年10月19日～20日・大阪大学 銀杏会館
- 【参加人数】 200名（うち外国人参加者10名）
- 【主な招待講演者】 ① Stephen D. Jacobs (University of Rochester, USA)
② Norbert Nickel (Hahn-Meitner-Institut Berlin, Germany)
③ Yung Woo Park (Seoul National University, Korea)

[4]

- 【会議の名称】 21世紀COEプログラム「原子論的生産技術の創出拠点」第1回合同セミナー
「有機デバイスセミナー」
- 【開催時期・場所】 2007年3月12日・大阪大学 工学研究科
- 【参加人数】 25名（うち外国人参加者5名）
- 【主な招待講演者】 ① S. Iannotta (IFN-CNR Inst. Photonics and Nanotechnologies)
② 竹谷 純一 (大阪大学 理学研究科)

[5]

- 【会議の名称】 21世紀COEプログラム「原子論的生産技術の創出拠点」第2回合同セミナー
「The US-Japan Joint Seminar on Nanofabrication」
- 【開催時期・場所】 2007年6月1日・大阪大学 工学研究科
- 【参加人数】 70名（うち外国人参加者25名）
- 【主な招待講演者】 ① D.C. Erickson (Cornell University)
② K.M. Lewis (Rensselaer Polytechnic Institute)
③ J. Zhu (Pennsylvania State University)

[6]

- 【会議の名称】 21世紀COEプログラム「原子論的生産技術の創出拠点」国際シンポジウム2007
- 【開催時期・場所】 2007年10月15日～17日・大阪大学 銀杏会館
- 【参加人数】 250名（うち外国人参加者20名）
- 【主な招待講演者】 ① J. Engemann (Univ. Wuppertal, Germany)
② R. E. Schropp (Utrecht Univ., Netherlands)
③ T. W. Ebbesen (Univ. Louis Pasteur, France)

2. 教育活動実績【公表】

博士課程等若手研究者の人材育成プログラムなど特色ある教育取組等についての、各取組の対象（選抜するものであればその方法を含む）、実施時期、具体的内容

本拠点では、基礎科学や先端技術で必要とされる原子レベルの精度を有する「物」を、「原子論的生産技術」によって具現化し、実用化する能力を有する人材を育成する。そのためには、具体的な「物」を必要とする異分野との連携研究に参画し、最先端の物づくり技術を駆使した実用化・事業化研究に携わらせる実践教育が必要であるとの見地に基づき、以下に示す特色ある教育プログラムを実施した。

[1] 事業化研究リーダー育成プログラム

【対象】本プログラムは、独創的な原子論的生産技術の実用化を前提とした企業との連携研究を通じ、基礎研究の成果を実用化し、さらに事業化する能力を有する人材を育成することを目的とするものであり、主として企業からの研究員や博士課程学生を対象とする。

【実施時期】平成15年度～平成19年度

【具体的内容】プログラム実施期間中の共同研究が、65社（1年を単位に延べ数）に上り、これに伴って研究員や博士課程学生を総数46名（1年を単位に延べ数）受入れ、教育を行った。特に、民間企業から成る国家プロジェクト（次世代半導体リソグラフィ技術開発）の共同研究事業組合（EUVA）からは、6名の研究員と1名の博士課程学生を受入れ、本拠点での教育研究成果として、結像系光学素子の超精密加工技術の移転を完了した。現在は、各社が独自のコンセプトに基づく加工システムの実用化を達成している。その他、本プログラムで教育された人材による、研究成果の実用化・事業化への移行は数多く進行している。

[2] 横断型異分野連携人材育成プログラム

【対象】本プログラムは、物づくりを核とする異分野連携研究に携わらせ、その分野の学問的・技術的背景や知識を理解し、実用化に必要な「物づくり」技術を開発する能力を有する人材を育成することを目的とするものであり、拠点内の博士課程学生および若手研究者を対象とする。

【実施時期】平成15年度～平成19年度

【具体的内容】異分野連携研究をベースに、連携研究先への長期派遣を合計68回、延べ22名実施した。連携研究は、国立国際医療センター、癌研究会、SPRING-8、ESRF、APS、高エネルギー加速器研究機構など、医学から基礎科学に至る様々な分野との間で実施された。X線顕微鏡開発に携わった学生が医学雑誌（Cancer Research）に成果発表したのを始め、その多くにおいて、学生主体の共著論文が発表されている。発表論文中、異分野連携研究の比率は53%に上り、原子論的生産技術によってのみ実現可能な「物」が、異分野の発展に貢献するとともに、若手研究者の副専門分野獲得を後押ししている。

[3] エリート研究者発掘・育成プログラム

【対象】本プログラムは、競争原理を取り入れるとともに、早期から最先端の研究に携わらせることにより、高度な研究能力を有する人材を発掘・育成することを目的とするものであり、主として拠点内の成績優秀学生を対象とし、申請書およびヒアリングに基づき各種支援を傾斜配分する。

【実施時期】平成15年度～平成19年度

【具体的内容】学部3年生の成績優秀者を研究室配属するトップ8制度により、修士課程学生が第一著者となる論文発表や、博士課程進学者数の増加など、低学年からの研究者としての動機づけに成功している。また、競争的な傾斜配分にもとづく博士課程学生への研究費支援（29件、総額25,350千円）、競争的な傾斜配分にもとづく博士課程学生へのRA支援（21件、総額17,910千円）、学生への海外渡航費援助（13件）など、研究支援、経済支援を実施した。

以上のようなプログラム等を実施した結果、大学院生の論文発表が328件（学生が第一著者の比率70%）、国際会議発表が404件（学生が第一著者の比率68%）に及び、若手研究者の独自性と主体性において、プログラム実施の効果は絶大であった。また、国内外の基礎科学系の雑誌での発表も数多く（Physical Review Letters (4報)、Applied Physics Letters (17報)、Physical Review (17報)、Review of Scientific Instruments (9報)、Surface Science (16報)、Journal of The Electrochemical Society (4報)、Japanese Journal of Applied Physics (65報)など）、独創性と学際性が求められる原子論的生産技術の創出拠点として、高い教育研究機能が確立されつつあることを示している。また、学生の受賞も19件を数える。アカデミックポジションへの就職者は、大阪大学(2名)、熊本大学(1名)、長崎大学(1名)、NIMS(1名)、SPRING-8(1名)など、高い実績を示した。さらに、若手教員の育成においても、対象となった者（開始時35歳以下：14名）の内、現在、JSTさきがけ研究者が4名、若手研究者が単独で進めるNEDO産業技術研究助成研究者が4名、フンボルト研究員（ドイツユーリッヒ研究所）が1名を数えるなど、主体性、研究提案能力などの点で、著しい成長を遂げた。

21世紀COEプログラム委員会における事後評価結果

(総括評価)

設定された目的は十分達成された

(コメント)

拠点形成計画の目的達成度については、中間評価のコメントにも真剣に対応し、また、国家プロジェクトや共同研究講座、民間企業からの大学院学生や研究生の受け入れなどから、高いレベルで達成できたと評価できる。

また、本プログラムにより産業界との接点がより密接になり、生産技術を学術的視点から生産技術支援までの開発研修組織を作ろうとしたことは、独創的であり、一定の成果が得られたと評価できる。

人材育成面については、Project Based Learning (PBL：問題解決型授業)の重要性を強調しているが、それだけでは徒弟奉公的印象が残り、中間評価の際に指摘したとおり、ナノファブ리케이션分野の人材育成において何か革新的な方法論の創出が望まれる。なお、関連全専攻の博士課程入学定員を上回る入学者を受け入れ、在籍者も急増しており、将来の産業界を指導できる人材の育成が期待されている。

研究活動面については、プログラム前半の準備段階を経て、後半において他分野研究者との連携が緊密に行われるようになり幾多の具体的成果に結実するようになり、評価できる。しかし、基本的に学者間の連携は容易ではなく、成果も特定研究者に集中している。また、世界的な規模の生産技術拠点としては、通常国際会議だけでなく、産業界への情報発信が必要であったのではないかと。

補助事業終了後の持続的展開については、従来の基礎研究がより深められ産業技術に近付き地に足が着きつつあるが、産業技術の進化の速度や設備の継続的更新の必要性を考えると、強力なリーダーの存在が必要である。また、産業界で本生産技術が定着するには、多くの新たな製品開発テーマが必要である。