

微細加工プラットフォームの概要

微細加工プラットフォーム代表機関 京都大学 理事, 副学長 小寺 秀俊



1. はじめに

新しいデバイスで未来を切り拓こうとお考えの皆様が、もし次のようなことでお困りの場合、微細加工プラットフォームにご相談ください。

- 良いアイデアはあるが、どのように作ったらよいかわからない
- 加工装置がないので、作りたいものが作れない
- 加工技術を、専門外の他技術と融合させて新しい技術を立ち上げたいが、他技術専門家との交流の入り口がわからない

本プラットフォームは、ナノ・マイクロ領域の加工技術の共通基盤として、大学や研究機関が有する最先端の機器と技術を広く社会に提供し、お客様である産学官の研究者・開発者・技術者のニーズに合わせて、技術相談・技術代行・技術補助・機器利用・共同研究などの多様なサービス形態により、微細加工の支援サービスを行います。本プラットフォームでは、日本全国をカバーする16支援機関（13大学・3研究機関）がコンソーシアムを構成しています。図1にサービスを提供する16支援機関の所在地と、各支援機関が得意とする技術フィールドを示しました。まずは16支援機関を代表する京都大学 (<http://nsn.kyoto-u.ac.jp/>)へコンタクトしてください。もしくは最寄りの支援機関か、技術フィールドのマッチする支援機関に直接コンタクトしても結構です (<http://nsn.kyoto-u.ac.jp/member>)。全支援機関は緊密に連携していますので、お客様のニーズに最も合う支援環境を提供する支援機関窓口にお客様をおつなぎします。



微細加工プラットフォームの主なメンバー：【左上から】笹木 敬司（北海道大学）、戸津 健太郎（東北大学）、小出 康夫（物質・材料研究機構）、秋永 広幸（産業技術総合研究所）、鈴木 博章（筑波大学）、浅田 邦博（東京大学）、庄子 習一（早稲田大学）、宮本 恭幸（東京工業大学）、岩田 聡（名古屋大学）、佐々木 実（豊田工業大学）、小寺 秀俊（代表機関:京都大学）、田畑 修（京都大学）、谷口 正輝（大阪大学）、鈴木 孝明（香川大学）、横山 新（広島大学）、山本 節夫（山口大学）、野依 一正（北九州産業学術推進機構）

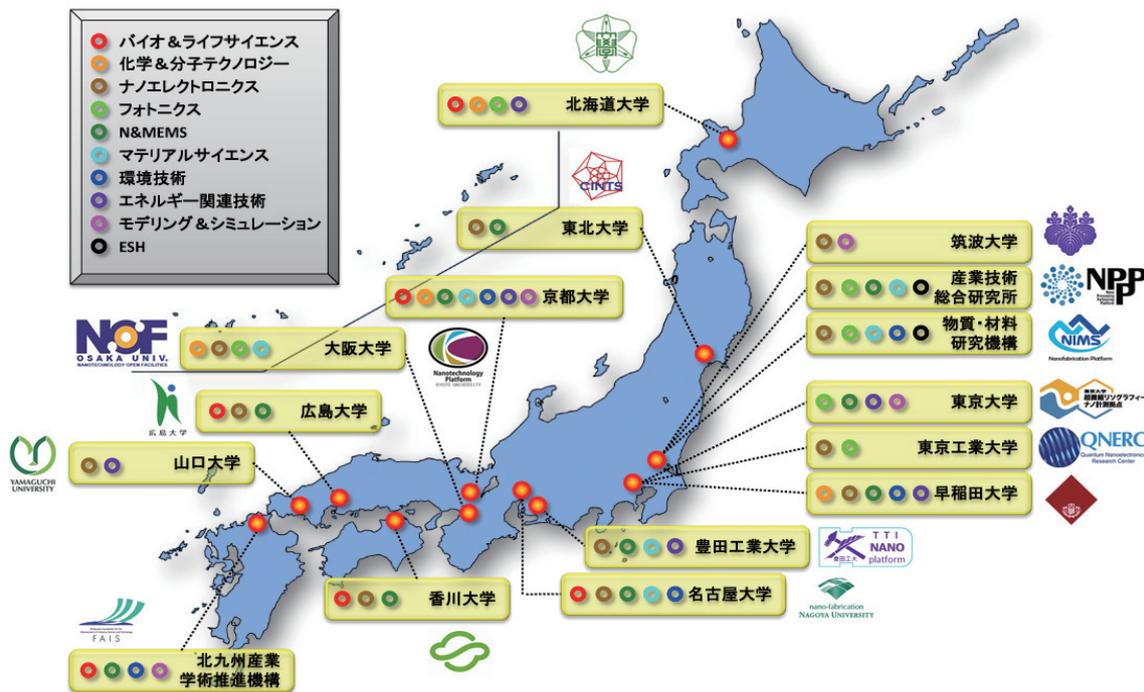


図1 全国16支援機関の所在およびカバーする技術フィールド



2. 微細加工プラットフォームの特徴

16支援機関の各特徴を紹介する前に、プラットフォーム全体として発揮する機能について、リソグラフィ技術を例に用いて紹介します。

提供するリソグラフィ装置にはいくつかの種類がありますが、目的とする微細構造のサイズや精度、描画面積、材料によって、最適な装置を選択することが重要です。本プラットフォームで利用可能な描画装置には以下のものがあります。いずれもナノテクノロジー分野のキーとなる装置です。

- ① 電子ビーム露光装置 (EB)：電子線を照射・走査して基板上的レジストへパターン形成を行う。ビーム形状や加速電圧により最小加工線幅（最小数ナノメートル）が可能。ナノメートルサイズのギャップ電極や量子ドットを実現するナノテクノロジー分野で需要の高い装置。
- ② 集束イオンビーム装置 (FIB)：Ga（ガリウム）イオンの照射・走査とW（タングステン）やPt（白金）の化合物ガスを用いることでエッチングとデポジションの両方を実現し、試料表面への直接加工を可能とする。
- ③ ステッパー：i線、g線などの光をマスクを通して露光することにより基板上的フォトレジストにパターンを形成。縮小光学系により高解像度のパターンを大型基板上に作製できるため、集積化実証への活用が可能。

これらの装置は、図2に示すように全国の支援機関に配置されています。各支援機関の特徴的なリソグラフィ装置を用いることにより、不定形な個片基板上での材料研究から、小径ウェハ上のデバイス試作、さらには大径ウェハを用いた集積実証にまで対応し、基礎研究から実用化研究まで広くサポートします。他にレーザー描画装置やLEDを用いたマスクレス露光装置も配備されていますので、マスクの発注や改編を経ないスピーディなデバイス試作が可能です。

これら高度な設備装置はすべて各支援機関における経験豊富な研究者や技術支援者により、生きた資産としてお客様に提供されています。本プラットフォーム事業の始まりは2012年7月ですが、2002年度に開始された「ナノテク総合支援プロジェクト」以来多くの支援機関が微細加工に関する支援に携わり、実績を積み上げてきました。従って運営に携わる教職員は学際を超えた多角的な連携を強く志向し、お客様からの依頼に傾聴し、双方のメリットが創出されるよう推進します。お気軽にご相談ください。

お客様を直接支援するのは技術支援者です。技術支援者は、加工装置や分析装置の操作を自ら行い、お客様への指導も行います。また装置やクリーンルームを常に安定供給するための保守・整備も行っています。技術支援者は経験豊富で優れた技能を有しています。企業の製造ラインを守ってきたベテランや、機械加工の技能と半導体装置オペレーションの二面に秀でた方など多様です。技術支援者と交流することは、学生利用者にとって良い刺激となるのではないのでしょうか。

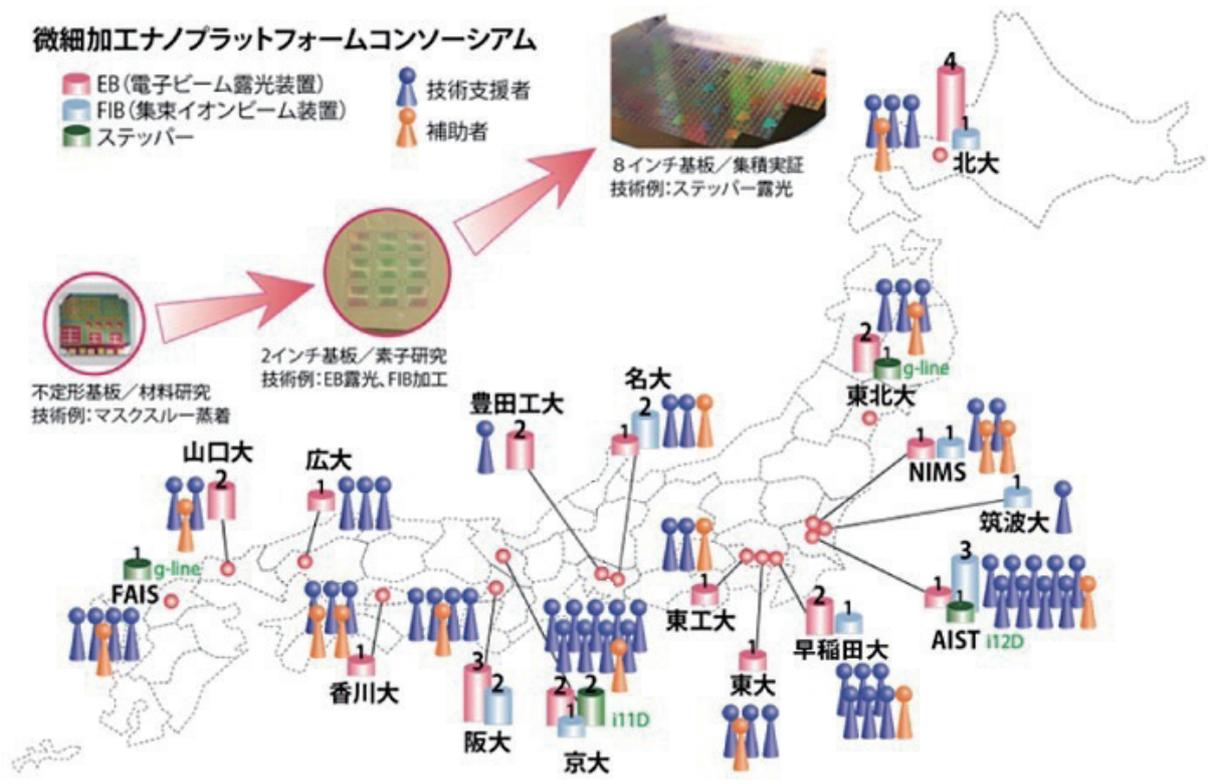


図2 主要なリソグラフィ装置の設置および技術支援者の配備状況



3. 各支援機関の特徴

コンソーシアムは16支援機関の連携と、個々の独自性が尊重され運用されています。すなわち共通基盤的な技術は、より多くの支援機関で共通化され、逆に独自技術はその支援機関の看板サービスとなります。お客様からの特殊な依頼は、それに対応可能な独自技術を有する支援機関窓口につながれます。各支援機関の詳しい紹介は次号以降に譲るとして、ここでは各支援機関の特徴を簡単に紹介します。

① 北海道大学

ホームページ

<http://www.cris.hokudai.ac.jp/cris/nanoplat>

5nmの描画分解能を持つ加速電圧125kV電子ビーム露光装置(図3)を含めた4台のEB装置による微細パターン形成と、その微細パターンをデバイスとして機能化させるための金属・磁性体スパッタリング装置や原子層堆積装置といった成膜装置、デバイス基板である石英やシリコンのエッチング装置群、FE-SEM(電界放出形走査電子顕微鏡)などによるデバイス評価システムにより支援を行っています。特に電子ビーム露光装置の描画分解能を最大限活用した金属・半導体ナノ構造作製を実現する支援装置群となっています。



図3 超高精度電子ビーム露光装置(125kV)



図4 過去50年培われたプロセス技術を継承するスタッフ

② 東北大学

ホームページ <http://cints-tohoku.jp/>

大学としては世界最大級の1,800m²のクリーンルームにおいて、4インチ、6インチの本格的な試作ラインを開放し、MEMSを中心とした半導体試作開発を支援します。東北大学で過去50年の間に開発したプロセス技術、蓄積されたノウハウをもとに、デバイス設計、プロセス設計、装置操作指導など、半導体やMEMS分野の経験豊富なスタッフ（図4）が最大限支援します。この3年間で100社を超える企業にご利用いただき、実用化に結びついた例もあります。



図5 クラス10000エリアの評価装置群

③ 物質・材料研究機構 (NIMS)

ホームページ <http://www.nims.go.jp/nfp/>

30台以上の微細加工・評価・計測装置群をアンダーワンルーフに集約し（図5）、多種多様な材料に対して一貫したプロセスで試料作製が行えます。半導体材料のみならず、酸化物材料、誘電体材料、磁性材料、金属材料、有機材料、生体材料、および複合材料等、様々な材料のナノからマイクロスケール、更にはミリスケールにわたる3次元的な微細加工支援を専任スタッフによる充実したサポート体制で推進します。



図6 1000人超のユーザを擁するNano-Processing Facility

④ 産業技術総合研究所

ホームページ <http://www.open-innovation.jp/npf/>

異分野融合推進の場として、超微細加工、実装、計測・評価、デバイス試作を可能とする一連の先端機器を産学官研究者に公開し、専門家による技術相談、装置利用、技術支援、成果創出支援サービスを提供するとともに、若手研究者や高度技術者の育成を行っています。当施設には任意サイズから3～8インチ基板までの各種材料の微細加工を行う装置群が整備されており（図6）、高度支援技術者によって装置利用トレーニングをはじめとする手厚いサービスが提供され、特に、充実した人材育成カリキュラムがあることがその研究開発支援の特徴となっています。



図7 需要の高いFIB-SEM装置による支援

⑤ 筑波大学

ホームページ <http://www.u-tsukuba-nanotech.jp/>

北関東（茨城、群馬、栃木、埼玉）の公設試で所有していない装置を公開し、北関東エリアのナノテクノロジーの裾野を広げるための支援を展開します（図7）。地域のネットワークを通じた新規利用者開拓のための入口支援を展開し、これらの活動をプラットフォームの連携・交流活動にフィードバックし、地域のニーズをきめ細かく



図8 武田先端知スーパークリーンルーム

汲み上げ、産学官連携・異分野融合のシームレスな全国展開に貢献します。

⑥ 東京大学

ホームページ <http://nanotechnet.t.u-tokyo.ac.jp/>

都心の一等地に「連邦規格クラス1」を含む600平米のクリーンルーム(図8)を構え、利用者自らの手による機器利用をサービスの中心とする、都市型の「オープンユース」公開プラットフォームを提供します。70研究グループからの登録ユーザ600名、実利用350名を超す大所帯にて、所属による差別を一切排除した環境でユーザは切磋琢磨しながら研究開発を行っています。大面積・高速電子線描画装置が公開の核であり、年間2,200描画を超える利用回数を数えます。

⑦ 早稲田大学

ホームページ

<http://www.all-nano.waseda.ac.jp/platform/index.html>

多様な素材に対応可能かつ基板サイズを選ばないナノ・マイクロ三次元加工技術を基軸とし、企業での豊富な研究開発実績を持つ技術支援者が支援を行います。これをベースに、早稲田大学の得意分野である「電気化学反応を利用した加工支援」(図9)及び「グリーンプロセスを利用した加工とそれを応用したデバイス機能計測支援」を行い、産業の発展と最先端研究の進展に寄与します。

⑧ 東京工業大学

ホームページ

http://www.pe.titech.ac.jp/qnrc/nano_support/index-j.html

電子ビーム露光による微細構造形成を特徴として支援を行っています(図10)。特に重ね合わせ露光に実績を持ち、微細構造を持った異種材料を組み合わせることで、様々な新しい素子の開発を支援します。また電子ビーム露光スクールを首都圏では産業技術総合研究所と合同で、首都圏以外では各プラットフォーム参画の支援機関と合同で、毎年各一回ずつ行っているのも特徴です。支援をおこなう大学研究者は、光・電子デバイス等に多くの実績を有しているので、デバイス物理に関するアドバイスも行います。

⑨ 名古屋大学

ホームページ <http://nanofab.engg.nagoya-u.ac.jp/>

ナノテクノロジーに関連する広範な技術領域およびそれらに必要な各種材料群(半導体材料、磁性体材料、誘電体材料、セラミックス系材料、有機系材料など)について保有している豊富な技術をベースに、最先端の薄

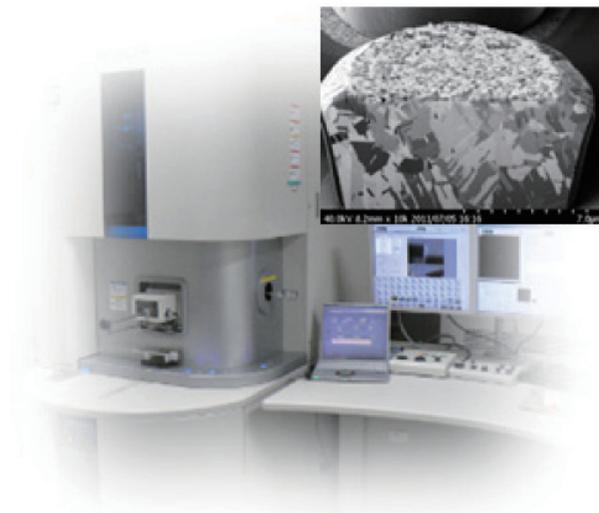


図9 Cuメッキバンプの結晶粒観察例



図10 多くのナノ構造造形の実績を持つ電子ビーム露光装置



図11 プラズマプロセスの最先端研究拠点、プラズマナノ工学研究センター

膜形成、リソグラフィ、プラズマエッチング（図 11）に関する技術とノウハウを提供するとともに、ナノ材料形成、ナノ構造形成、ナノデバイス形成などの研究開発を幅広く支援します。

⑩ 豊田工業大学

ホームページ

http://www.toyota-ti.ac.jp/kenkyu/nanoplatform/nanoplatform_front_page.html

シリコン系素子の微細加工に必要な標準設備を揃え、一連の試作が施設内で実施できます。クリーンルームは企業で実務経験のある技術職員によって管理され、技術指導や委託加工まで対応します。この基盤環境をベースに、研究室群からは、III-V 族、カーボン、磁気材料にも対応できる加工設備群を提供し、太陽電池、ナノ構造素子、MEMS を専門とする学内研究者が協力します。シリコンと各種物質のナノ微細加工によるハイブリッド化ものづくりに関する支援も推進します。プローブ顕微鏡や X 線計測技術など、構造評価も一か所で迅速に対応します。実習・講習会、企業向け支援の実績が豊富です。（図 12）



図 12 社会人にオープンなプロセス実習・講習会

⑪ 京都大学

ホームページ

<http://www.nanoplatform.cpi.kyoto-u.ac.jp/>

70 種の最新鋭微細加工装置、評価装置と経験豊富な専門技術職員を擁する微細加工プラットフォーム実施機関です。多種多様材料（半導体、機能材料、ポリマ、生体材料、セラミック等）対応型の大面積（4.6 インチ）プロセスラインを整備しています（図 13）。保有する装置、施設は 100% 共用設備ですので気兼ねなく利用できます。大学のナノテクノロジー研究者のアナリシス智を活用できます。



図 13 大型インチ対応のクリーンルーム設備

⑫ 大阪大学

ホームページ <http://nanoplatform.osaka-u.ac.jp/fab/>

電子線リソグラフィ装置、集束イオンビーム装置、レーザー描画装置、マスクアライナーなど、超微細加工から微細加工まで対応可能な描画装置を有し（図 14）、各種エッチング装置・成膜装置と組み合わせたナノ・マイクロデバイス作製支援が特徴です。その他、最先端レジストの開発・評価や特異的なナノ構造体の作製の支援も行います。また、当拠点内の分子・物質合成プラットフォームおよび微細構造解析プラットフォームと密接に連携した支援も行います。



図 14 集束イオンビーム装置 (W-beam)

⑬ 香川大学

ホームページ

<http://www.kagawa-u.ac.jp/nanoplatform/>

シリコン・樹脂をはじめとする様々な材料を用いた任意の不定形から4インチ基板までの微細加工・MEMS加工を行う前・後工程の一連の装置群を揃えています(図15)。また、装置操作を行う技術支援者を配し、さらに、経験豊富な研究者により新たな加工技術と先端デバイス開発・評価を様々な形態で支援する能力を有しています。四国地方では唯一の装置群は、その使いやすさから多数機関の利用実績があり、四国の産業振興に貢献しています。



図15 利用者の活気が漲るクラス1000クリーンルーム

⑭ 広島大学

ホームページ

<http://www.nanofab.hiroshima-u.ac.jp/>

2インチのシリコンウェハを主体に、他の材料(電気光学材料・磁気光学材料等)及びMEMS等の加工ができる装置を整備しており、構造設計、デバイス試作、評価まで一貫した支援が可能です(図16)。装置供用、技術供与により日本のナノテク技術向上に寄与するとともに、バイオテクノロジー支援も含めてこれまでに多くの研究者・企業への支援実績を有しています。



図16 クラス10スーパークリーンルーム

⑮ 山口大学

ホームページ

<http://www.nanotech.sangaku.yamaguchi-u.ac.jp/>

微細加工や高品質薄膜製造用の特徴のある装置群を提供し、誘電体・磁性体・超伝導体などの多様な材料が取り扱えることを特徴としています。中でも、微細加工技術を支えるインフラ技術である極高真空環境での極微量ガス分析支援を行っており、超/極高真空技術を基盤とした薄膜形成・微細加工技術を活用し(図17)、デバイス開発、プロセス開発の技術的課題の解決を支援します。



図17 UHV多元スパッタ装置

⑯ 北九州産業学術推進機構

ホームページ

<http://www.ksrp.or.jp/shisetsu/semicon1.html>

技術支援者によるサポートやオペレーション教育を行い、異分野の研究者や初心者でも気軽に、(1) CMOS半導体回路とその微細加工プロセスの研究、(2) MEMS素子研究とその微細加工プロセスの研究、(3) MEMS～CMOSを通しての総合研究、に入れる体制を整えています。実用性の高いアプリケーション創出が可能な人材育成に注力しています(図18)。



図18 IC・MEMS関連の実習型セミナー



4. 平成 24 年度の支援活動の状況

2012年7月開始の本プラットフォーム事業ですが、2013年3月までの9か月で900件以上の依頼に対する支援を行いました。本事業は、装置利用に対する課金と、その成果の一般公開を前提にお客様にご利用いただいておりますが、課金徴収につきましては費用対効果の面でお客様にご満足いただいているものと考えます。成果の一般公開につきましても、依頼内容の秘匿性の高い企業様からの依頼をいただいていることから、特許出願等のすみやかな対応をいただいた上で本プラットフォームを積極的に利用していただいている、と考えています。なお、本プラットフォーム事業ではお客様のご希望により、成果公開を最大2年間延期できますので、知財、論文活動等の対策に時間を充てることが可能です。

3月11日に東京大学生産技術研究所にて、微細加工ナノプラットフォームコンソーシアムワークショップを開催しました。140人超の方々に参加いただき、本プラットフォーム事業1年目の支援成果をコンソーシアム外のお客様にも公開しました(図19)。

また、約60種の研修会や講習会が各支援機関において開催されました。学生や一般企業の方を対象としたものもあります。来年度もこの活動は継続されますので、各支援機関の発するイベント情報をご覧ください。



5. プラットフォームの発展にむけて

16支援機関の代表として、京都大学に代表機関事務局を設置しました。本プラットフォーム事業がお客様にとって利用価値の高い活動として発展していくために、代表機関は次のような取り組みを行います。

(1) コーディネータによる連携強化

4名(2013年3月現在)のコーディネータを配置しました(図20)。コーディネータは16支援機関の連携を深め、お客様の利便性を向上させる役割を担っています。4名は企業におけるナノ・マイクロ領域の研究開発経験を有しておりますので、お客様側の感覚に立って本プラットフォームの利用をご案内します。

(2) 技術支援者のスキル強化

各支援機関における技術支援者は、お客様のリクエストに応えるべくスキルの研鑽に励みます。支援機関は独自の研修カリキュラムへ他支援機関の技術支援者を受け入れ、スキルの向上に貢献しています。図21では技術支援者が一同に集い、支援業務で発生する様々な課題を共有して議論を行っています。自らのスキルレベルと、自らの支援で得た信用や対価が事業の運用にいかにか活かされているかを確認する場となっています。

技術支援者は、装置のオペレーション、装置の管理・修繕、お客様への指導と助言、支援実績の集計などのワークをこなすスペシャリストです。この多彩な業容は、海外の著名なオープンイノベーション型の技術支援サービス拠点(例えばベルギー imec やフランス MINATEC)と比較しても特異です。技術支援者はこの特異性を認識するために、imec と MINATEC を訪問し、相手方の支援業務の実態を学びとりました(図22)。海外拠点との国際競争というグローバルな視点で自己のスキルを見直す契機となりました。

(3) 提供装置の拡充

支援機関においてはユーザからの要望に応えるべく、

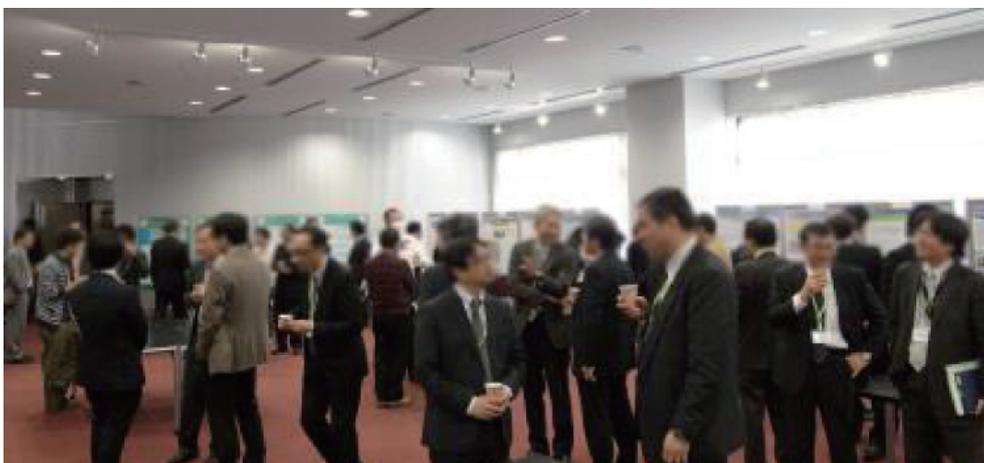


図19 ポスター展示前での参加者交流



図20 微細加工プラットフォームコーディネータ
左から、和田（産業技術総合研究所）、落合（同左）、島本（同左）、中村（京都大学）



図21 技術支援者向け研修（2012年12月 京都）



図22 技術支援者の海外研修
（2013年3月 フランス MINATEC）

電子ビーム露光装置を用いた微細な10nm～100nmレベルの加工技術が蓄積されてきましたが、一方で原理検証レベルを終えたデバイスに関しては、より大量に作製しその有効性を実証する実証研究が望まれています。この微細でかつ大面積への大量加工は、支援機関の装置の処理速度の限界を超えるため、大型拠点の東大や京大等が有する装置との連携が望まれていましたが、それでも6インチウェハの面積に電子ビーム露光を施す能力には限界がありました。この状況を改善するために、本プラットフォームは、関西と関東に8インチ基板上への高速大量処理が可能なキャラクタプロジェクション（CP）式の電子ビーム露光装置を導入する計画です。これを基点とした支援機関間連携を強化し、お客様の実証研究へのご要望に応えます。

具体的には、近年フォトリソ研究分野で需要が増加している、100nmを切る大きさの円や円弧といった、従来型の半導体微細加工が苦手としている形状加工を、大面積基板上に大量に、容易に描画できるようになります。

(4) ITシステムの活用

各支援機関は独自にホームページを立ち上げており、提供する装置が参照できます。京都大学は代表機関のホームページ（<http://nsn.kyoto-u.ac.jp/>）を提供し、そこから各支援機関のホームページに移ることができます。ホームページ機能の拡張予定として、全支援機関が提供

する装置の稼働状況を把握できる機能や、各支援機関がどのような加工技術で支援してきたかを報告書の形で閲覧できる機能など、充実を図っていきます。

(5) 課題

本プラットフォーム事業がスタートしてからまだ1年に満たないですが、16支援機関の運営に携わるメンバー間の活発な交流によりプラットフォームの一体感が備わりました。16もの拠点分散型である利点はすでに述べましたが、分散型ならではの課題に対しても取り組みが必要です。その1つとして、ウェハが複数の支援機関間を移動し加工処理される際に、ウェハの汚染状況などによっては受け入れ処理ができないという課題があります。今後は汚染状況の検査や洗浄に必要な装置群を順次導入し、そのような障壁が取り除かれるよう配慮していきます。事務的な面でも、お客様が複数の支援機関と契約を締結する必要があるので、お客様の利便性をあげるために、契約書類の統一化などソフト面での改善も検討を重ねます。



6. おわりに

基礎・応用研究からデバイスやシステム開発分野までボーダレスに激化した競争社会において、日本の産業が持続的に発展するために、低炭素、バイオ、ICT（情報通

信技術), 安全安心, 健康等の注力すべき分野において, 産学官が大いにその課題解決のポテンシャルを有していることを実証しなければなりません. ナノ・マイクロ領域の微細加工技術はその重要な要素技術であります. 装置の高度化・高額化, 維持費用の高額化, 複数装置の組合せ利用の必要性, 専門技術者の不足, など企業や大学が抱える様々な障壁を本プラットフォームが取り払い, お客様が本プラットフォームの提供する装置や技術を利用することで,

- 異分野融合によるイノベーション創出
- 研究開発から社会実装までの加速
- ナノ・マイクロ加工分野における人材の育成とその流動化

の効果が生まれることを期待します. 時代にあわせた支援体制の構築に努めてまいりますので, 多くのご利用と本プラットフォームに対する評価をお待ち申し上げます.



【お問い合わせ】

微細加工プラットフォーム

代表機関：京都大学

☎ 075-753-5656

E-mail nanoplat@t.kyoto-u.ac.jp

ホームページ

<http://nsn.kyoto-u.ac.jp/>