

ナノ世界への招待～技術の高度化と新産業の創造

NANO BIC

装置紹介



Colors, Future!

いろいろって、未来。

川崎市

ナノ世界への招待～技術の高度化と新産業の創造

NANO BIC

装置紹介

- 03 NANOBICと4大学
ナノ・マイクロファブ리케이션コンソーシアム
- 07 技術開発に新たな視点を
NANO BIC装置紹介
- 08 #01 成膜：4元マグネトロンサイドスパッタ装置
- 10 #02 成膜：ECRイオンビームスパッタ成膜装置
- 12 #03 成膜：クラスタ型コータ・デベロッパ
- 14 #04 パターニング：レーザー直接描画装置
- 16 #05 パターニング：超高精度電子ビーム描画装置
- 18 #06 パターニング：ナノインプリント装置
- 20 #07 エッチング：高密度プラズマドライエッチング装置
- 22 #08 エッチング：シリコンドライエッチング装置
- 24 #09 評価・計測：超低真空走査電子顕微鏡
- 26 #10 評価・計測：マイクロスコープ
- 28 #11 評価・計測：マイクロ・ナノPIV(可視化画像流速計測)システム
- 30 #12 評価・計測：超解像度レーザー顕微鏡
- 32 #13 評価・計測：断面試料作製装置
- 34 #14 評価・計測：原子間力顕微鏡
- 36 NANOBICユーザーの声を聞く
NANO BICの研究機器でできること
装置利用の手順
- 40 共用装置一覧
- 43 「新川崎・創造のもり」とは

■表紙写真提供(五十音順)

株式会社キーエンス

株式会社島津製作所

ブルカー・エイエックスエス株式会社

FEI company,Eberhardt Josue Friedrich Kernahan

NANOBIIC と4大学 ナノ・マイクロファブリケーション コンソーシアム

新川崎・創造のみに2012年4月にオープンしたナノ・マイクロ産学
官共同研究施設

「NANOBIIC ~ Global Nano Micro Technology Business
Incubation Center」

川崎市は、慶應義塾大学、早稲田大学、東京工業大学、東京大学か
らなる「4大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム」との連
携により、ナノ・マイクロ分野の最先端の研究機器の共同利用や研究・
教育などの支援に取り組み、川崎市内のものづくり企業の技術力と研究
開発力の向上、産学連携による新産業の創出を目指しています。

NANOBIICは、ナノ・マイクロ技術にかかわる基礎研究から試作、計
測・評価まで一貫通貫で取り組むことができるナノ・マイクロ技術の産
学官共同研究開発拠点です。



新川崎・創造のもり NANOBIC

拡張ナノ空間での極限のものづくりに挑む

川崎市では、「新川崎・創造のもり」地区で、研究開発の拠点づくりを進めています。2012年4月、この「新川崎・創造のもり」にナノ・マイクロ領域の超微細加工・計測技術を核にしたナノ・マイクロ産学官共同研究施設「NANOBIC」がオープンしました。

ものづくり企業の技術力向上をめざし、4大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアムと連携

次世代のものづくりでは、製品の小型化や精密化の流れがさらに進展し、マイクロ(100万分の1)メートルからナノ(10億分の1)メートルサイズの超微小、超精密な領域での高い精度の加工、計測技術が求められています。こうした、いわゆるナノ・マイクロ技術は、電子機器からナノフォトニクス、MEMS/NEMS、マイクロ・ナノ化学、ナノバイオまで幅広い技術分野への展開可能性を持ち、次世代の産業の発展や人々の生活の向上に貢献するものとして近年、大きな期待を集めています。

川崎市では、「新川崎・創造のもり」地区において、このナノ・マイクロ技術を基盤とし、基礎研究から実用化開発までの一貫した研究開発を同じ施設内で進めるナノ・マイクロファブリケーション施設「NANOBIC」を整備し、企業と大学の連携(産学連携)による研究開発を支援しています。

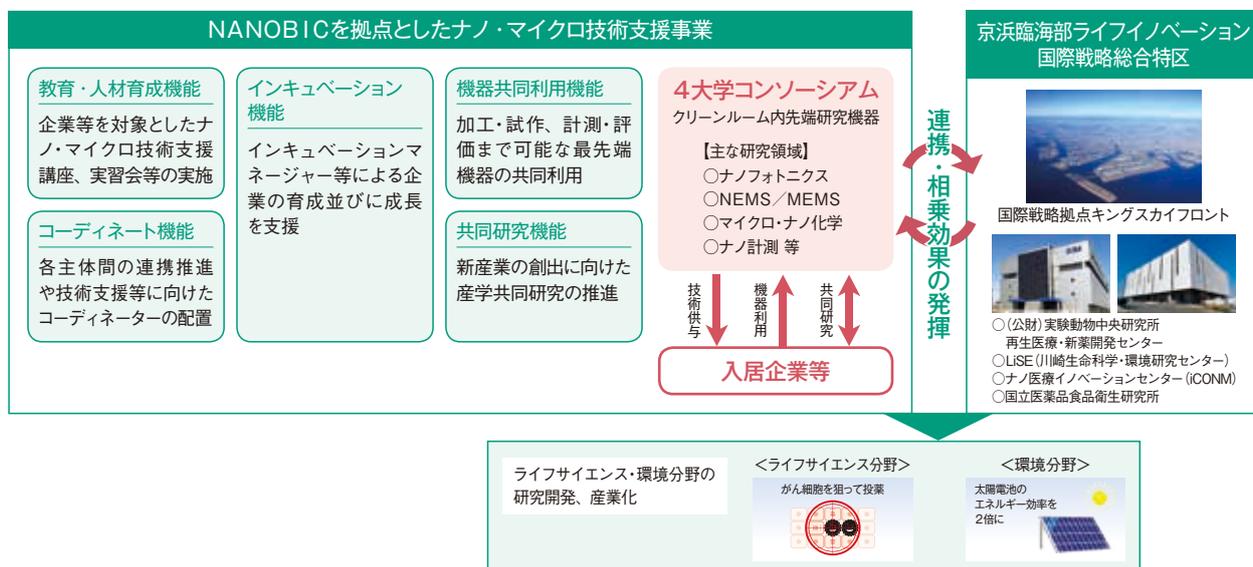
そして、「NANOBIC」でのナノ・マイクロ技術を核とした産

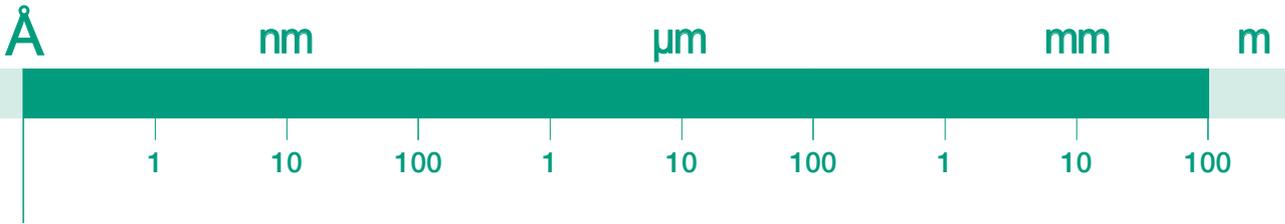
学連携の中心的役割を担うのが、慶應義塾大学・早稲田大学・東京工業大学・東京大学からなる4大学ナノ・マイクロファブリケーションコンソーシアム(以下「4大学コンソーシアム」)です。4大学コンソーシアムと川崎市は、ナノ・マイクロ技術により、我が国のものづくりを牽引する新技術開発や新製品・新産業を創出することを目指し、2009年1月に連携協力に関する基本合意を締結しました。

この合意に基づき、現在、「NANOBIC」を拠点とし、4大学コンソーシアムが保有する最先端の研究機器・装置の企業への開放などを通じて、企業や地元産業界との連携、既存の技術の高度化や新産業の創造に向けた取組を進めています。

基礎研究から製品開発まで 一貫通貫の研究施設

どの分野においても、技術シーズを産業につなぐためには高いハードルがあります。肉眼では見えない微細世界に挑むナノ・マイクロ分野では、その傾向は顕著となります。そのために必要なのが「加工・デバイス化・計測」という一貫した流れです。





対象	原子 分子 ナノ粒子	拡張ナノ空間 新デバイス 新機能 新効果・現象 「極限ものづくり」
分野	ナノテク	
原理	量子力学 量子サイズ効果	
手法	化学合成 自己組織化	

連続流体	バルク固体	構造物	建造物…
マイクロ化学	MEMS	マイクロマシン	
	古典力学		
トップダウン加工			

加工とは、特殊な特徴を持った部品を作ることですが、これだけではまだ役には立ちません。加工した部品を使い、私たちが使えるような機能を備えたものにスケールアップ(デバイス化)すればシステム化が可能になり、ここで初めて実用化や産業化への糸口が生まれます。その上で、デバイスが狙い通りにできているのかを観察し、計測できなくてはなりません。

例えば、ナノ・マイクロ「加工」技術を用いることで、水を弾く蓮の葉の微細な表面構造を再現することが可能です。この技術を、血液がスムーズに流れる身の丈サイズの「デバイス」に応用し、さらにこのデバイスを組み合わせることで人工血管まで作り上げることができます。そして、人工血管での血液の流れを詳細に「計測、評価」することで、より最適な表面構造を見つけだし、これをまたナノ・マイクロ「加工」技術により実現します。このような「加工・デバイス化・計測」の工程を繰り返すことで、ナノ・マイクロ技術が実用化へと近づき、我々の生活を豊かにする産業化へと発展していくのです。

NANOBIICは、こうした「加工・デバイス化・計測」の一連の工程を一貫通費できるところに最大の特徴があります。

NANOBIICは、研究棟とクリーンルーム棟の2棟からなり、クリーンルーム棟には、クラス100※(約175㎡)とクラス10000(約575㎡)の2つのクリーンルームが設けられています。

そしてこのクリーンルームに、4大学コンソーシアムの約35種類以上の機器・装置が設置されています。これらは、まさに基礎研究から製品開発までの一貫した作業「加工・デバイス化・計測」を可能にしています。具体的には成膜、フォトリソグ

ラフィ、エッチング、分析、計測などの装置類です。

例えばCMOS(相補型金属酸化膜半導体)をつくる場合、シリコンやガラスを原材料に、膜をつくる成膜工程、回路図を焼き付けるフォトリソグラフィ工程、回路を削るエッチング工程を経て分析や評価を行います。NANOBIICでは、これらの作業が一貫してできる装置が揃えられています。

リソグラフィ工程に用いる装置として、成膜と乾燥、焼き付けの一連のプロセスを自動化できるクラスター型コータデベロッパ装置、直径2nm(ナノメートル)の電子ビームで線を引く超高精密電子ビーム描画装置などが装備されています。またエッチング関連では、プラズマで高速エッチングができる誘導結合プラズマドライエッチング装置や、シリコン深掘りエッチング装置などがあります。そして、各工程で分析装置や電子顕微鏡、光学形状測定装置などを用いて計測、評価することが可能です。

4大学コンソーシアムの名前が「ナノ・マイクロ」となっているように、ナノサイズからマイクロサイズまでの幅広い領域をカバーする機器・装置類を備えていることもNANOBIICの大きな特徴です。

流体科学、バイオMEMSが特徴の4大学コンソーシアム

4大学コンソーシアムは、研究面では①デバイス技術、②材料プロセス・化学プロセス、③加工技術、④計測技術の4つのテーマで協力体制を敷いています。その上で主に、環境・エネルギー、先端デバイス、バイオMEMS(微小電気機械システム)分野を研究しています。

具体的な研究をいくつか紹介すると、環境・エネルギー分野の研究では流体電池があります。自然エネルギーを利用して発電された電力を大量に貯蔵できる高性能電池の開発をめざしています。

バイオMEMS分野では、ナノ流体システム技術を中心に、絆創膏に組み込んだチップを使って血液や汗などを分析して健康状態をセンシングするデバイスの開発や、ほんのわずかな血液やサンプルで医療診断を可能にする診断デバイスなどの研究が行われています。



※クラス100は、1立方フィートの中に直径0.5μm以上の微粒子が100個以下、クラス10000は1万個以下のクリーン度を示す

地元企業の装置利用に期待 技の深層に迫る

NANOBIICの重要な役割は、川崎市内の企業を中心とする地元企業の技術力の向上と新産業の創造です。具体的には、ナノ・マイクロ技術の教育講座の開催や研究機器の開放利用、4大学コンソーシアムの専門研究者によるアドバイス、共同研究に取り組んでいます。

なかでもNANOBIICで利用できる4大学コンソーシアムの機器や装置には、一企業が自前で備えるには高価であるものの、その機器や装置を利用することで既存の技術を大幅に高度化できるものが少なくありません。物質表面の状況を3次元のカラー写真で確認できる超深度カラー3D形状測定顕微鏡や、空間分解能が80nmの超解像蛍光顕微鏡、さらには精度の高い流体観察ができるマイクロPIV装置など、基礎的なものから最先端までの機器・装置があります。これらを利用することでこれまでのものづくりでは確認できなかった“技”の深層に迫ることができるでしょう。



活用が期待される各種のナノ・マイクロ機器・装置

そこで判明した課題の解消や技術の向上のために4大学の研究者のアドバイスを受けることも可能です。例えば同じように作っている製品でも品質に違いが出るのはなぜなのか、その分析のためのポイントはどこにあるのか等が可能です。

NANOBIICでは、川崎市と4大学コンソーシアムが協力し、最新の技術動向に関する「ナノテクノロジーセミナー」、少人数制のサイエンスカフェ「ナノ茶論」、4大学の研究機器の利用方法について4大学の研究者がインストラクションする実習会「ナノファブスクエア」も開講しています。4大学の講師陣が各分野を融合した新しいカリキュラムをつくり、企業の技術者等を対象にした教育活動を通して先端技術の習得や共同研究を支援しています。

NANOBIICの開設により大学と大企業、中小企業が一つ屋根の下で研究開発を進める環境が整いました。開かれた環境に多様な人々が集い、イノベーションの実現に向けて力を合わせていく。NANOBIICは、まさにオープンな研究施設として、ものづくり企業を支援していきます。



ナノ・マイクロ技術を学ぶ各種の研修講座も開催されている

〈4大学コンソーシアムの研究プロジェクト〉

1. 拡張ナノ空間を利用した基盤・応用技術の研究開発

- ・拡張ナノ流体、化学物性研究
- ・ナノ構造形成原理探求
- ・拡張ナノ光学物性研究
- ・化学、材料、バイオシステムへの応用研究

2. ライフイノベーション（高度医療診断分析装置のパーソナル化） 研究開発

- ・ナノ表面修飾による生体試料分析の高効率、高性能化
- ・無線通信の集積化、高機能化によるリアルタイム診断

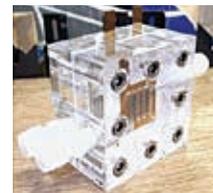
3. エネルギーイノベーション

（環境負荷低減デバイス材料、システム化技術）研究開発

- ・ナノ構造、界面制御による発電、蓄電デバイスの高効率、高性能化
- ・ナノ流体、反応制御による高効率有害物質処理、浄化

4. 拡張ナノ空間を利用した高速、高感度センシング技術の研究開発

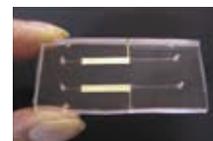
- ・ナノ界面流動制御による有害物質の分離、計測
- ・超時空間分解能計測技術



フロー電池のプロトタイプ



絆創膏チップ



医療診断チップ

技術開発に新たな視点を

NANOBIIC 装置紹介

ナノ・マイクロサイズのデバイスは、成膜→パターンニング(露光・フォトリソグラフィ)→エッチング→評価・計測という流れで作製されます。NANOBIICには、それぞれの作業に必要な約35台以上の各種装置が導入されています。同じ作業分野でも装置によって機能が異なり、NANOBIICでは、さまざまな技術開発に対応できる研究機器を整備しています。

成膜工程

フォトレジスト・コーティングや
ナノ薄膜スパッタリング

- 4元マグネトロン
サイドスパッタ装置
- ECRイオンビームスパッタ
成膜装置
- クラスタ型コータ・
デベロッパ



評価・計測工程

仕上がり品の分析・評価

- 超低真空走査電子顕微鏡
- マイクロスコープ
- マイクロ・ナノ PIV
- 超解像度レーザー顕微鏡
- 断面試料作成装置
- 原子間力顕微鏡

パターンニング工程 (露光・フォトリソグラフィ)

デザインを基板に転写

- レーザー直接描画装置
- 超高精度電子ビーム描画装置
- ナノインプリント装置



エッチング工程

ドライorウェットによる
表面加工

- 高密度プラズマドライ
エッチング
- シリコン深掘り
ドライエッチング装置



4元マグネトロンサイドスパッタ装置

薄膜加工の基本機能を備えたスパッタリング装置 金属、絶縁体など様々なターゲットでの成膜が可能

幅広い分野で応用できるスパッタリング

スパッタリングは、真空技術を基礎としている技術で、電気・機械・情報・自動車・光産業など産業としても応用分野が広く、有機EL、LED、太陽電池、光学部品、バイオ、半導体・電子部品など様々な分野で活用されています。近年では、めっきに代替する技術として、ポリカーボネートに金属の風合いを持たせる塗装にも使われてきているほか、半導体やセンサ、マイクロマシン、MEMSの開発等、用途に応じて金属、絶縁体など、様々な特性を持つ材質の膜を付け（機能性膜）、電気的な性能をコントロールすることにより、その効果を実現することができます。例えば、自動車のヘッドアップディスプレイやスマートフォンのディスプレイは、ディスプレイパネルの表面をスパッタリング加工し、特殊な機能をもたせることで、光の反射などをコントロールし、必要な情報のみを映し出すなど、光の制御等にも活用されています。また、自動車のミリ波エンブレムにも、この技術が応用されており、エンブレムの表面に、ナノレベルのサイズで島状の形状にスパッタリング加工することで、ミリ波が生成し、前方の車両との距離の情報を感知するセンサとしても役割を果たします。

スパッタリングの基本原理は、不活性で安定的なアルゴンガス中で、マグネトロンの高周波を印加することにより、アル

ゴンガスが電離、プラスの電荷を持ったアルゴンがターゲットにぶつかることで、材料の原子がイオン化して飛び出し、基板に付着することで薄膜を作製するというプロセスとなっています。NANOBIICの4元マグネトロンサイドスパッタ装置は、サイドスパッタのロードロック式で真空を破らずに基板を交換できます。真空状態(10-4Pa)でプラズマをたて、イオン化し飛び出した材料原子を磁場により、原子の向きをコントロールし、高密度かつ高密着、さらには均一な膜付けが実現できます。

様々なターゲットでの成膜・多層膜形成と 広範囲に分布のよい成膜を実現

この装置では、4種類のターゲットが搭載でき、金属膜(Au, Ag, Cu, Si, Ti, Sn, Cr, Al, Ni等)や透明導電膜(ITO, ZnO)、誘電体膜(SiN, SiO₂, ZrO, TiO₂等)などの成膜や多層膜の形成が可能です。広範囲に分布が良いスパッタ源を搭載し(SiO₂では170mmφ以内の均一性が±5%以内)、最大300℃までの加熱が可能です。また、タッチパネルで簡単な操作・成膜条件管理が容易な装置コンセプトで、条件、レシピなどのデータを蓄積でき、様々な材料開発が行えるようになっています。

今後は、バイオチップ等の研究開発にもスパッタリングを



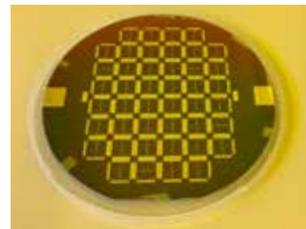


田口 良広
慶應義塾大学
理工学部
システムデザイン工学科 准教授

低電圧駆動が可能な 熱駆動アクチュエータの開発

4元マグネトロンサイドスパッタ装置では、金属、誘電体、絶縁体など様々な薄膜を成膜可能であり、しかも真空を破ることなく4種類までの異なる材料を連続して成膜可能です。装置紹介#08で紹介しているシリコン深掘装置のマスク材料はフォトリソの他に金属膜も利用可能であるため、フォトリソグラフィ前のウエハに金属膜を本装置で成膜し、リフトオフプロセスによって金属マスクを作製することもできます。また、シリコン基板で作製したマイクロミラーの表面に高反射膜としてアルミなどを成膜することもあります。本装置はプロセス上流から下流までのあらゆる場面において利用することができます。

我々は本装置を用いて熱駆動アクチュエータを開発しています。熱膨張率の異なる2種類の物質(SU-8とNiCr)を積層し、NiCrに通電加熱することでアクチュエータを駆動します。熱駆動アクチュエータの特徴は低電圧で駆動できるため、櫛歯型静電アクチュエータと比較して1%の電圧で動かすことができます。図1は4インチのシリコンウエハに本装置を用いてNiCrを成膜した後、フォトリソグラフィとリフトオフプロセスによってアクチュエータのパターンを作製した例です。4インチウエハ上に40個以上のデバイスが形成されています。図2は熱駆動アクチュエータのNiCr電極の拡大図です。NANOBIICにある一連の装置によって精細な電極パターンを作製できることがわかります。



■図1 シリコンウエハ上の成膜・パターンニング例



■図2 NiCr電極の拡大図(線幅は30 μm)

〈この装置の特徴〉

- マグネトロンスパッタの磁場下で、材料原子の基板への成膜をコントロール
- 高真空中で極薄、良質の安定成膜を実現
- 金属膜、絶縁膜、多層膜等の成膜にも活躍

応用することが期待されており、例えば、チップに金電極を搭載することにより、血液の成分分析や、DNAを抽出して解析するなど、ライフサイエンスやヘルスケア等、医療分野でも用途が拓けることでしょう。また、近年注目されているカーボンナノチューブの生成においても、最適な条件を設定すれば、アルミ、鉄の核(下地)を作ることも可能です。

原理に従って装置の操作をマスターし、条件、レシピが確立できれば、ナノ・マイクロ領域の研究開発における試作から大型化・大量生産への展開も期待できるでしょう。

■基本仕様

(芝浦メカトロニクス(株)
CFS-4EP-LL)

スパッタ方式：φ220：サイドスパッタ
ホルダーサイズ
加熱温度：最大300℃
ターゲット(Sn, Ti, Si, Ag, SiO₂, NiCr,
TiO₂, Cr, Cu, AZO, ITO, Pt, Al, Ni, Auの
4種の成膜が可能)

解説は…

吉田 信哉さん

芝浦メカトロニクス
株式会社
メカトロニクスシステム
事業部

ECRイオンビームスパッタ成膜装置

緻密で良質な薄膜形成とエッチングが可能な複合機

電子サイクロtron共鳴プラズマ方式のイオンビームスパッタリング成膜

「ECRイオンビームスパッタ成膜」とは、電子サイクロtron共鳴 (Electron Cyclotron Resonance=ECR) と呼ばれる原理を用いてプラズマを発生させ、プラズマ中のイオンを利用して対象物をエッチングしたり対象物に薄膜を形成する方法です。

装置のイオン銃室内(真空状態)に磁場をかけ、その磁場の強さに対応する共鳴周波数のマイクロ波を入射すると、マイクロ波と磁場の相互作用により、充填してある不活性化ガス(イオン化ガス、主にアルゴン)の電子が電子サイクロtron共鳴という回転振動を始めて移動します。さらに、電子が多数の中性分子と衝突を繰り返すことによって、原子が「イオン」と「電子」に分離する現象(電離)が起きます。この電離した原子を含む状態が、物質の3体(固体、液体、気体)の次に来る第4の状態「プラズマ」です。

プラズマ中のイオンはプラスの電気を帯びており、電極板を設けて電位勾配をつければイオンのみを引き出すことができます。引き出されたイオンをエッチングしたい材料や成膜に使う材料(ターゲット材)に衝突させることで、材料の粒子を削り取ります。これが「スパッタリング」と呼ばれる現象です。削り取られる材料の反対側に成膜したい材料(対象物)を置くと、スパッタリングによって削り取られたターゲット材の粒子が付

着して膜となります。

ECRイオンビームスパッタリング方式の特徴は、高真空中で、熱ダメージが少なく、極めて薄い良質な膜を安定的に作れる点にあり、成膜スピードは毎分nmレベルで制御できます。

ターゲットステージには最大3種類のターゲットを搭載でき、ステージは自動連続回転機構や首振り機構を備えています。またビーム量を自動制御しながら、各々のターゲットに交互にビームを照射できるので、「シリコン/窒化クロム/シリコン/アルミニウム」などといった多層膜や混合膜を形成できます。

イオン銃室内を高真空 ($5.0 \times 10^{-3} \sim 3.0 \times 10^{-4}$ Pa) にしているため、ゴミとなる粒子が少なく、不純物の混入が少ない良質な膜が生成できます。また本装置は、2本のイオン銃の他にもう1本、膜品質を向上させるための専用のイオン銃を備えているのも大きな特徴で、成膜表面のクリーニングや、反応性イオンビームを用いることで膜の改質を行うことができます。

CNxなどの新素材開発にも活用可能

成膜技術は、ベアリングやシャフトなどの摩擦係数を下げたり、センサーや電極、金型の最終段階の保護膜などとして広く活用されている技術です。

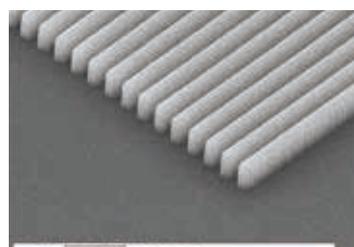
本装置は、エッチングやコーティング時の試料温度の設定や真空中に投入する雰囲気ガス、イオンの種類など、条件をさまざまに変えて、素材開発の基礎研究に活用されています。例



■装置によるクロムCr成膜例
(Siウェハ上にCrを約1 μ m成膜)



■二酸化シリコンSiO₂のエッチング例





山本 貴富喜
東京工業大学
工学院 機械系 准教授

医療用ナノ流体デバイスで nmオーダーの膜厚制御

MEMS作製では、1)成膜(材料を盛る)、2)パターニング、3)エッチング(材料を削る)、の3工程を繰り返すことで微細な3次元構造を形成していきます。

ECRイオンビームスパッタ成膜装置は、成膜を担う装置で、金属・誘電体・半導体、材料を問わず基板上に成膜できます。NANOBIICに整備した他のスパッタ装置に比べて高真空という綺麗な環境で着膜できるため、ゴミや欠陥の少ない良質の膜を得ることができ、かつ、基板から剥がれにくい付着強度の高い膜を作ることができるのが大きな特徴です。また成膜条件を細かく制御できることも、本装置の魅力です。

我々は、さまざまなMEMS/NEMSデバイスの作製に本装置を利用しています。例えば、デバイス上の電気配線や測定電極の作製、さまざまな微細構造の作製、さらにエッチング工程における薬品やプラズマからの保護など、あらゆる場面で本装置が活躍しています。

我々が作製する医療分析用ナノ流体デバイスでは、幅や高さが数10~数100nmの流路構造に電極を埋め込んで、流路を流れる分子などの電気計測を行っています。従ってnmオーダーの膜厚制御性が要求されており、膜厚制御性の良いイオンビームスパッタ装置の出番となります。

別のアプリケーションでは、nm精度で屈折率の異なる材料を積層して、色を制御する構造を作っています。さまざまな色を発色する蝶の鱗粉は、実は透明な材料ですが、nmサイズの凸凹構造によって光が干渉し、綺麗な色を発色しています。これを構造色と呼びます。構造色を人工的に作ろうとすると、nm単位での高精度の薄膜作製と多層膜間の付着強度が重要になります。材料によって着膜後の伸び縮みの性質(残留応力)が異なるので、多層膜化すると構造が変形する場合があります。イオンビームスパッタは成膜条件を制御することで残留応力のチューニングができるので、ナノ構造作製には欠かせない装置となっています。

原理的に成膜速度が遅い欠点がありますが、NANOBIICのイオンビームスパッタ成膜装置は自動で材料を切り替えながら膜厚を制御できるシステムとなっているため、スパッタ中の待ち時間を他の作業に利用して効率良く研究できる仕組みがとられています。

〈この装置の特徴〉

- プラズマイオンで対象物に薄膜形成
- 高真空中で極薄・良質な安定成膜
多層膜や混合膜形成も可能
- 素材の基礎研究や、サブミクロン単位の
エッチング、表面加工にも活用

例えば、ダイヤモンドよりも高硬度を有することが理論的に示され、新たな半導体材料として期待されているCN_x(カーボンナイトライド)の開発にも活用されています。

また、走査電子顕微鏡や電子マイクロアナライザなどで計測する試料の作製にも活用されています。

表面加工では、サブミクロン単位でのエッチング、タングステンやニオブなどの表面加工などがあります。走査電子顕微鏡と組み合わせて、削られていく経過をリアルタイムで観察することもできます。

成膜では、白金やタングステンなどをターゲット材にした重金属の膜を作ることができます。また、四角い試料の各面に異なる金属の膜を生成したり、多層膜を形成できますので、マイクロスイッチやマイクロセンサーなどの開発にも応用可能です。

■基本仕様

(株式会社エリオニクス EIS-230W)

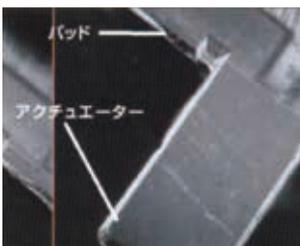
イオン銃：電子サイクロトロン共鳴ECR型
／加速電圧：100V ~ 3000V連続可変
／成膜速度：4nm/min / 成膜寸法：φ50mm
／膜厚均一度：φ40mm±5%以内
／イオン化ガス：Ar、Xe、O₂、N₂など
／イオン流モニター：モニター用検出端子付
／ガス流量制御：マスフローコントローラ
／イオン中和機構：ニュートライザ機構付
／イオン流密度：Ar1.5mA / cm²以上(2kV加速時)
／ターゲット制御方式：スケジューラ
ファイル用PC / 試料ステージ：基板サイズφ50mm、加熱温度350℃、電動回転機構付

解説は…

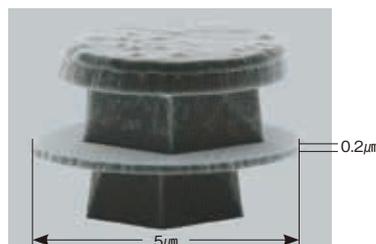


杉山 嘉也さん
株式会社エリオニクス
応用技術課

■MEMS分野での成膜応用例



■光通信用世界最小半導体 レーザー素子



資料提供：横浜国立大学・馬場俊彦教授

クラスタ型コータ・デベロッパ

先端研究の期待に応える高精度なレジスト塗布・現像

塗布&ベイク&現像の3ユニットを一体化

この装置は、フォトリソグラフィ工程における「レジスト塗布」「ベイク」「現像」の3つの工程に使用される装置です。

「レジスト塗布」とは、ウエハ上にサブミクロンから数百ミクロンの厚みのフォトレジスト(感光性樹脂)を形成する工程です。次に「ベイク」とはウエハ上に塗布したフォトレジストを固化・定着させる工程です。最後に「現像」とは露光(回路パターン)後にウエハを現像液に浸し、余分なフォトレジストを取り除く工程です。「クラスタ型」とはこれらの工程ユニットを統合した装置であることを意味しています。

この装置のレジスト塗布部には、スピンコートとスプレーコートの2つの塗布ユニットが搭載されており、ターゲット膜厚、膜厚均一性、またはウエハ表面の形状に応じた塗布手法が選べます。

スピンコートとは、ウエハの中心部にフォトレジストを滴下しウエハを高速回転させることでウエハ上にサブミクロンから数百ミクロン厚のフォトレジストを塗布する手法です。

一方、スプレーコートとは、微粒子化したフォトレジストをウエハに噴きつけてフォトレジストを塗布する手法です。スプレーコートは表面に凸凹形状を有するウエハにフォトレジストを塗布するのに有効です。

スピンコートユニットには、ウエハ高速回転時にウエハ周辺

の乱気流の発生を低減させるフタ回転機構を搭載しており、膜厚均一性の向上、フォトレジスト使用量の削減、角形状基板に対するフリッジ発生領域を減少させる効果があります。

均一性はターゲット膜厚1 μm に $\pm 1.0\%$ 以内

フォトレジストの膜厚は、フォトレジストの特性(粘度)とウエハを回転させる速度により決定します。またフォトレジストを滴下する位置や滴下する量のばらつきも膜厚均一性に影響を及ぼす場合があります。

この装置には完全に自動化されたレジスト塗布機構が搭載されており、フォトレジストの滴下条件やウエハの回転条件をレシピ化して登録し、高い再現性を実現する機能が搭載されています。例えばターゲット膜厚1ミクロンの塗布を行う場合、その膜厚バラツキを $\pm 1\%$ 以内に抑えることが可能です。またMEMSやバイオデバイス分野においては数十から数百ミクロンの厚膜塗布に使用されています。

ベイク部では、ウエハ上のフォトレジストの固化と定着、また露光後のPEB(加熱による感光部分の拡散)、現像後のポストベイク(レジストの密着性向上)を行います。温度は60 $^{\circ}\text{C}$ から250 $^{\circ}\text{C}$ の範囲において1 $^{\circ}\text{C}$ 単位で設定可能で、設定温度に対する均一性は $\pm 1\%$ 程度です。またウエハと熱源の間に隙間を



■スプレーコータの塗布作業



■デベロッパモジュール部分



高速で試料構造を分析する マイクロ熱物性センサー

半導体微細加工プロセスにおいてフォトリソグラフィはプロセス上流に位置付けられ、開発するマイクロデバイスの性能を左右する重要なプロセスになります。

クラスター型コータ・デベロッパはフォトリソグラフィの中でもフォトレジストと呼ばれる有機薄膜をウエハに高精度に成膜可能な装置です。プロトタイプの開発や小規模な研究所では従来この工程はマニュアルで行われてきたため、再現性や均一性などに問題がありました。クラスター型コータ・デベロッパを用いることで再現性や均一性が格段に向上し、定量的な評価を要するマイクロセンサーなどの開発が飛躍的に進みました。

我々が開発したマイクロ熱物性センサーの1つを紹介します。下図に示したように、マイクロ拡散センサーはシリコンウエハに作製されたマイクロフレネルミラーと呼ばれる微小光学コンポーネントと、光誘起誘電泳動セルと呼ばれる微小流路によって構成されており、腕時計に内蔵可能なくらい小さな光学式センサーです。

光誘起誘電泳動セルに封入された試料にマイクロフレネルミラーを介してレーザーを照射すると、セル内に縞状の濃度分布が形成されます。この濃度分布が減衰する様子を観察すれば試料の拡散係数をセンシングすることが可能です。タンパク質などのバイオサンプルやナノ・マイクロ粒子の拡散係数は試料の構造に依存するため、拡散係数をセンシングすることで試料の構造を分析できます。我々が開発したマイクロ拡散センサーでは1秒以内で分析することができ、時々刻々と構造が変化するような試料の様子を高速にモニタリングすることができます。

こうした定量的な拡散係数測定においては、測定の不確かさが小さい測定条件を見つけなければなりません。ミラーの大きさや角度などデバイスパラメータを繰り返し検討する必要があり、クラスター型コータ・デベロッパを用いることでデバイス開発の歩留りが向上し、センサー開発のスピードをアップさせることに成功しました。

(慶應義塾大学 田口准教授)



マイクロ拡散センサーのイメージ図

〈この装置の特徴〉

- レジスト塗布・ベイク・現像の一体ユニット
- 膜厚の均一性を確保し、角形基板のフリンジ発生領域も減少
- 多様な条件のレシピ化で高い再現性を確保

設けてベイクするギャップベイクが可能です。

現像部では、露光したウエハの現像を行います。現像は有機アルカリ現像に対応しており、パドル現像とスプレー現像の2方式が選択可能で、現像液の滴下・保持・乾燥の工程を自動で行います。塗布部と同様に現像条件のレシピ化と登録が可能のため、高い再現性を備えています。

なおこの装置では、こうした一連の工程について、25枚から50枚のウエハを連続して処理することが可能です。

■基本仕様

(ズース・マイクロテック株式会社
Gamma)

対応基板サイズ：2、3、4インチφウエハ(6、8インチφウエハはオプション)／ウエハのハンドリング：完全自動(カセット対応)

【スピン塗布部】レジスト自動塗布機能／フタ蓋回転式塗布機構GYRSET® 【スプレー塗布部】X-Y移動式スプレーヘッド及びベイク機能付ウエハ回転ステージ／スプレーノズル：2ライン 【現像部】アルカリ現像およびリンス(純水)機能／パドルおよびスプレー現像に対応(温度調整機能付) 【ベイクプレート部】温度範囲：60～250℃／プロキシミティベイク：高さ調整範囲0.2-10mm (0.1mm単位で調整可能)

解説は…



高杉 公計さん

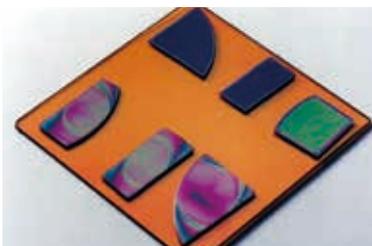
兼松PWS株式会社
営業部

SUSS MicroTec 担当

■段差構造のスプレーコーティングデータ



■角基板のフリンジ発生状況



レーザー直接描画装置

汎用性と柔軟性に優れた最小 1 μ m サイズを描画できるマスクレスレーザーリソグラフィ装置

研究開発用途に適した描画装置

この装置は、フォトレジストを塗布したウエハ等の材料に、レーザーを用いて微細なパターンを直接描画できるマスクレスレーザーリソグラフィ装置です。センサ等のMEMSや、スマートフォンのレンズ等の光学部品を作製する過程において、マスクレスで対象物に直接描画ができることから、様々なパターン・形状でプロトタイプを製作するような試作・研究開発に適しています。

本装置は、ミクロンレベルの加工での高い描画精度を確保するため、描画対象物を設置するステージには温度や湿度の変化による影響を受けにくいグラナイトを用い、重量のあるステージ自体を移動し描画するシステムを採用しています。描画ヘッドを移動する場合と比べて、より安定した描画環境を実現しています。原理的には、XYの位置を干渉計で定め、描画用データに従って、レーザービームをAOM(音響光学変調器)で強度調整、AOD(音響光学偏向器)で高速走査することで、光学描画ヘッドを動かさずに高精度で高速な露光を可能にしています。描画ヘッドには、センシングした空気圧を電圧に変換するピエゾトランスデューサを用いたオートフォーカス機能がついています。対象物と描画ヘッドの距離は約90 μ mで常に一定に維持され、幅広い描画用基板と表面状態に対応可能です。

CADデータを作成すれば、ガラス基板の上にクロム薄膜を成膜したフォトマスクブランクスにフォトレジストを塗布し、本装置でマスクを作製できるため、マスクを用いる量産向きのフォトリソグラフィへの開発コストを低減することが可能です。

また、試作・研究開発においては、様々な加工条件を検討している利用者の方が簡易に操作できることも重要なポイントです。この装置では、データ変換用PCにより、DXF、CIF、GDS II、Gerber、BMP、ASCII、STLの画像データフォーマットを直接取り込むことができます。データ変換の際に、レイヤーの拡縮、デザインのサイズや位置などの他、連続パターンのアッセンブリも、プレビュー画面で大小を確認しながらの調整が可能です。さらに、NANOBIICの装置では、描画物のサイズによってレーザーのヘッドを選択できます。小さいデザインの描画には最小1 μ m描画の4mmレンズ、大きいデザインの描画には最小10 μ m描画の40mmレンズの2種類のレンズを使い分け、29～416mm²/分の速度で描画することができます。ヘッドはその場で簡単に交換ができるようになっています。

3つの描画方式とNANOBIICでの応用

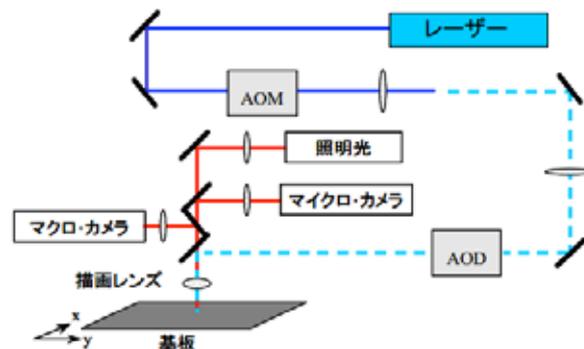
この装置が可能な描画手法は、バイナリー(2D)描画、グレイスケール描画、ベクター描画の3種類があります。

まず、バイナリー描画ですが、平面上でデザインを一定幅のストライプに区切り、ストライプごとに下から上方向に描画していくもので、一定の深さで平面加工を行いたい場合に適した手法です。バイナリー描画が平面加工であるのに対して、3次元加工を行いたい場合に用いるのがグレイスケール描画です。レーザーの出力を調整しながら描画することで、自由に描画物に高さを出すことができる手法で、最近では、マイクロアレイやレンズ等の研究開発における需要が高まっています。ベクター描画は、バイナリー描画と同じく平面での描画ですが、上下方向のみに描画するバイナリー描画と異なり、上下左右方向それぞれに曲線的な描画ができます。短時間で線だけのパターンを描画したいときに最適な描画モードです。

実際に加工する際には、この3つの描画方法を使い分けることに加え、条件設定がキーとなります。加工後、設計通りの加



■装置の基本構成





笠間 敏博

東京大学
工学系研究科
国際工学教育推進機構 助教

バイオマーカーの高速・高感度・低コスト 検出デバイスの開発

我々のグループでは、マイクロ空間の特徴を活用した医療デバイスの研究開発を行っています。マイクロ空間には、検体量や検体の分析に必要な高価な試薬の使用量を低減できるといった特徴のほかにも、分子拡散を狭い空間に制限することにより、検体中の目的分子と反応場との接触機会を増やすことができるため、短時間で目的分子の高感度検出ができるという特徴があります。しかし、微小なマイクロ空間に医療デバイスを作り込むためには、高精度で緻密なパターニング技術が必要となります。

そこで我々はレーザー直接描画装置を利用してフォトマスクを作製し、フォトリソグラフィ技術を使ってマイクロ空間に医療デバイスを作製しました(写真)。まず、本装置が有する最高1 μm という高い描画精度を利用し、フォトマスクに光が透過する微細なパターン(幅40 μm 、長さ4mm)を形成しました。射出成形で作製したプラスチック基板のマイクロ流路に紫外線硬化樹脂をマイクロピペットで注入し、プラスチック基板の上からこのフォトマスクを被せて紫外線を照射することで、マイクロ流路の中にフォトマスクのパターン通りに硬化した紫外線硬化樹脂の構造物を作ることができます。この構造物には特定のタンパク質だけを捕捉する抗体分子が多数結合されています。

我々はこのデバイスを用いて、血清を分析し、その中に微量に含まれる動脈硬化、炎症、前立腺がん、肝臓がん、肺がんなどに関わる疾病マーカーの検出に成功しました。また、ひとりひとりの患者さんに適したがん治療法を選択するために、肺がんや脳腫瘍のドライバー遺伝子変異を特定することにも成功しました。微細なパターンの高精度描画は、今後の医療技術の発展に欠かせない技術と考えています。



〈この装置の特徴〉

- 基本的な形状から3D形状までレンジに富んだパターンを描画
- 最適な描画を実現するための多様な条件設定機能搭載
- 高い操作性を備えたユーザーインターフェース

工ができているかを評価し、どのような条件が最適な条件か、検証していくことが重要ですが、NANOBIICでは、本装置以外にも、高精度の薄膜を作製できる成膜装置や走査型電子顕微鏡を備えており、システム化された研究環境が整備されています。また、本装置とナノサイズのパターン描画ができる電子ビーム描画装置との重ね合わせ描画も可能であることから、バラエティに富む形状が実現できるとともに様々な用途への応用が期待できるでしょう。

■基本仕様

(Heidelberg Instruments Mikrotechnik DWL66fs)

光源: Arイオンレーザ 波長: 363nm、出力: 180mW

最大基板サイズ: 9インチ×9インチ

最大描画サイズ: 200×200mm

最小描画サイズ: 1.0mm

最小アドレス・グリッド: 10nm

描画スピード: 29 ~ 416mm²/分

3D(グレースケール)露光モード

アライメント用カメラシステム

バックサイド・アライメント・システム

データフォーマット: DXF, CIF, GDSII,

Gerber, BMP, Ascii, STL

解説は…

山下 賢哉さん

ハイデルベルグ・インストルメンツ株式会社 営業部

三方 聡さん

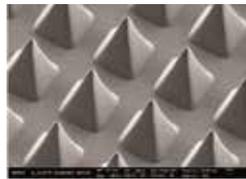
ハイデルベルグ・インストルメンツ株式会社 技術部

■応用例①



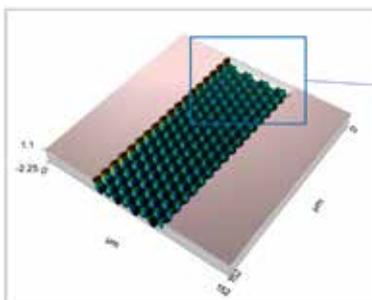
バイナリー描画によるマイクロ流路の加工例。レジスト厚100 μm 、最小描画サイズ1 μm 。使用レジスト材料: SU-8

■応用例②



グレースケール描画によるピラミッドアレイの加工例。底辺25 μm 、高さ50 μm 、ピクセルサイズ200nm。使用レジスト材料: AZ4562
滑らかな斜面構造の描画には、最適な条件設定が必要

■応用例③



マイクロアレイレンズの加工例。最大深さ3.19 μm 、ピクセルサイズ200nm。使用レジスト材料: AZ4562

超高精度電子ビーム描画装置

最小回路線幅 8 nm サイズでの直接描画を実現

最大加速電圧 80kV、重ね合わせ精度 40nm

この装置は、微細な電子源(点電子源)が得られやすく、高い電流密度も得られる「熱電解放射型」の電子ビームを用い、超微細なパターンを長時間にわたって描ける電子ビーム描画装置です。

電子ビームの加速電圧を高めれば高めるほどビームを細くでき、超微細なパターンを描けるようになります。この装置の加速電圧は最高80kVで、電子ビームの最小径は2nmを実現しています。前方散乱電子による描画線幅の広がりを抑え、回路線幅は最小8nmまでの描画が可能です。

これはつまり、市販されている電子線レジストを使って10nm以下での微細パターンの描画ができることを意味しています。

回路の描画作業は、半導体の製造プロセスでは川上に位置しています。従って描画段階で精度を確保できれば、後工程においても精度を維持でき、結果的に優れた製品や研究結果を創出できます。また、回路線幅が細ければ細いほど、半導体の省エネルギー化、小型化、高性能化を実現することにつながります。

ビームの位置決め性能は最高 $\pm 0.3\text{nm}$ の補正分解能を達成しており、ステージの位置読み取りには分解能が0.6nmのレーザー測長計(干渉計)を装備しています。

描画できる最大フィールドサイズは $2.4\text{mm} \times 2.4\text{mm}$ で、不定形サイズのものにも描画できることを大きな特徴としています。最大では直径が6インチのウエハ試料か、6インチ四方のマスクの試料が装着でき、大面積での描画も可能になっています。

また、レーザー干渉計搭載のステージは、すでに加工済みの部品に対するつなぎ、重ね合わせの描画精度(位置合わせ精度)が共に40nmという高精度を実現しています。

バイオチップやマイクロマシン開発の基礎ツール

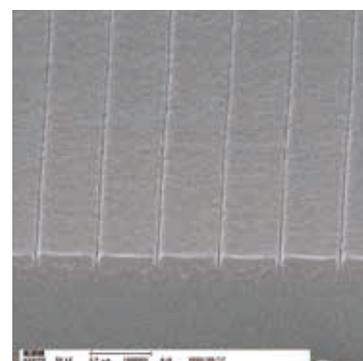
超微細なパターンの描画ができることで、さまざまなアイデアの実現をサポートし、多くの活用実績があります。

この装置を使い、CADで設計したデータを基に、マスクレスで電子線レジストに直接描画するケースもあります。

最近の活用法で注目されているのはバイオチップやマイクロマシンへの応用です。ヒトのDNAの二重螺旋分子の直径は2nmであり、タンパク質にDNAの糸が巻き付いた「ヌクレオソーム」の直径は11nmあります。つまり最小の8nmの超微細パターンで作られたバイオチップ(網)であれば、DNAをつかまえられるのです。

そもそも超微細な回路形成は、大容量伝送用光デバイスとして広く普及してきました。精細でエッジが立った回路では、光が混ざり合わずに直進できるだけでなく、分光器の分光素子として使えば光が混ざらない分光を実現できます。

■超細線描画の例。溝幅は8nm



ナノパターンをそのままガラスにエッチングも

MEMS作製の基本プロセスは、1)成膜(材料を盛る)、2)パターニング、3)エッチング(材料を削る)の3工程で、電子ビーム描画装置は、2)のパターニングを担当する装置です。

NANOBIICには、パターニングのためにレーザー描画装置と電子ビーム描画装置が設置されていますが、レーザー描画装置は1 μm 程度までのパターン、電子ビーム描画装置は1 μm よりも小さいパターン作製を担います。本装置は最小寸法で10nm以下のパターニングが可能です。これは最先端のCPU配線よりも細い配線が可能であることを意味しており、さまざまなナノデバイス作製に欠かすことができない装置です。

ただし描画に時間がかかるため、大面積でのパターニングは不得手です。それでも時間をかければ直径150mmもの面積に10nm以下のパターンを敷き詰めることが可能なスペックを有しています。このようなハイスペックを実現するための維持・管理は研究室レベルでは困難で、専用の耐震・電磁シールド設備を持った、NANOBIICの高度なクリーンルームがあって初めて本来の性能を発揮できます。

NANOBIICには、特にマイクロ・ナノ流体デバイス作製やナノインプリントなどの版作製に最適な設備群がシステム化されています。本装置もその1つで、本装置で作製したナノパターンをそのまますぐにガラス専用のドライエッチング装置でエッチングすることにより、ナノ流路構造やナノインプリント用の版が簡単に作製できるシームレスな加工システムが構築されています。

本装置の利用例として、我々が作製する医療分析用ナノ流体デバイスでは、わずか1分子を検出するような性能を持ったデバイスを研究しています。生体分子は大きなものでも10nm程度であるため、1分子だけが流れるような流路を作るには、幅や高さが数10nm以下の流路構造が必要となります。このようなナノパターニングに電子ビーム描画装置は不可欠なものとなっています。

また、ナノ流体デバイスの量産化プロセスとして、大面積で大量一括にナノ構造を転写できるナノインプリントやナノ印刷技術の研究も進めています。ナノインプリントもナノ印刷でも母型が1つあれば、ここから大量にコピーを作れるので非常に生産性が上がりますが、最初に母型が必要となります。このような母型作製にも、本装置が活躍しています。

(東京工業大学 山本准教授)

〈この装置の特徴〉

- 熱電解放射型電子ビームで、マスクレスで電子線レジストに直接描画
- 大容量伝送用光デバイスの製造で活躍
- 曲面加工や研磨でMEMSの構造構築にも活用

実際、最先端のものでは、光多重波長デバイスモジュールで光信号を受け入れる入口と出口で異なる波長に圧縮したり波長を戻したりする機能に、この微細加工による部品が使われています。

その上で、マイクロマシンへの応用では、曲面加工や研磨に使われ、2つの流路を作ってガスを流すといった構造構築にも活用されています。先にも紹介したように、加工済みの部品に対する重ね合わせ精度は40nmですから、例えばハードディスクの磁気ヘッドの先端部分だけを電子描画で描き加えるとといった活用もなされています。

■基本仕様

(株式会社エリオニクス ELS-7800K)

(1) 電子光学系本体

電子銃：熱電解放射型電子銃 (ZrO / W)
 / 最小電子ビーム系： ϕ 2nm以下 / 最小描画線幅：8nm以下 / 最大加速電圧：80kV

(2) 試料室

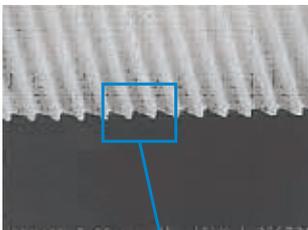
移動範囲：X、Y方向=155mm、Z方向=5mm / 最大試料サイズ： ϕ 150mmまたは150mm / 最小試料サイズ：5mm角～ / フィールド間つなぎ合わせ精度：40nm / 重ね合わせ描画精度：40nm

解説は…



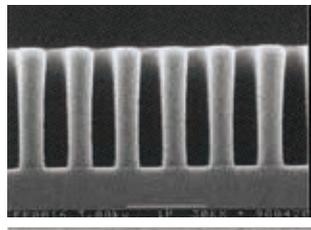
渡邊 雅彦さん
 株式会社エリオニクス
 応用技術課リーダー

■応用例①

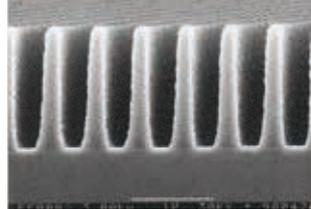


「ブレードグレーティング」。光学平面レンズに膜厚0.32 μm 、ピッチ1.0 μm で描画

■応用例②



1.5 μm



1.5 μm

レジストマスクのエッチングで高アスペクト比で描画した。0.3 μm ライン&スペースのポジ型レジスト(上)と同じくネガ型レジスト(下)

ナノインプリント装置

ナノサイズの金型転写による自在なデバイス加工

ナノパターンの一括転写で高精度加工

この装置は、金型の型押し技術を使い、金型に作られたナノサイズの微細な構造を樹脂に転写するための装置です。

「プリント」と名前が付いているので印刷(インクによる画像の再現)技術のように誤解されますが、「インプリント」は刻印、刷り込み、転写といった意味を持つ「プリント」とは別の単語で、「インクを使用しない金型の型押しによるパターンの転写」という意味です。

まず電子線ビーム描画装置やEUV (Extreme Ultraviolet lithography=極端紫外線露光) などにより金型を作製します。転写される樹脂には熱可塑性樹脂、紫外線硬化(UV)樹脂などさまざまな種類の樹脂を利用できます。

ナノインプリントの方法は大きく分けて2つ。1つが、金型をフィルム状の樹脂に直接加熱しながら押しつけ、冷却後に離す「フィルムナノインプリント」で、主に熱可塑性樹脂表面加工(熱ナノインプリントプロセス)で使用します。

もう1つが、シリコンや石英などの基板の上にレジストとなる樹脂を塗布し、そこに金型を押しつけてレジストにパターンを転写する「レジストナノインプリント」で、UV硬化樹脂加工=UVナノインプリントプロセスで使用します。

この装置では位置制御で加圧力、押し込み深さ、温度設定

などについて精密な機械コントロールを実現しています。押し込み量の保証値は「50nmピッチ」ですが、操作の再現性では理論的には「10nmピッチ」まで可能です。

加工精度は、写真にもあるようにナノパターンが正確に加工されており、そのために金型によりフィルムへ成型した場合は、ナノパターン特有の構造色(干渉色)をきれいに確認することができます。

R&Dからパイロットまで自在の生産能力

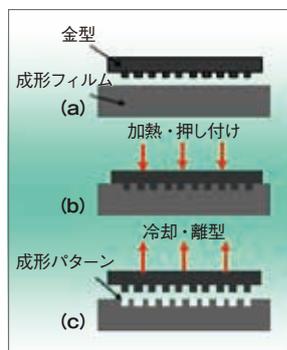
樹脂の表面に微細加工を施すので、活用分野に制限はありません。ありとあらゆる分野の微細加工が必要なデバイスで利用が検討されています。

自動車部品などを作る射出成型や押出成型では対応できない、薄膜への微細なパターンにも対応しています。つまりさまざまな用途のデバイスの大量生産が可能なのです。

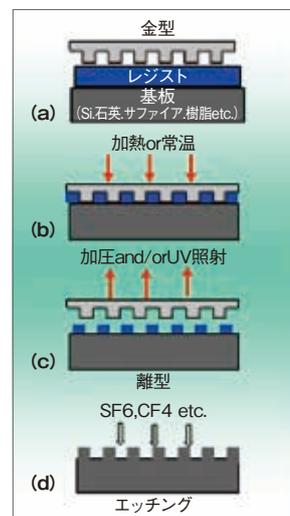
パターン別の主な適用用途の事例を見ると、「ピラー・ホールパターン」はLEDやOLED(有機発光ダイオード)、太陽電池も含めた光デバイス、いくつかのバイオデバイスなどの用途があります。「レンズアレイパターン」は導光板をはじめとした光学デバイスなどの用途で、「無反射パターン」はレンズ曲面やLED、液晶、ソーラーパネルなどの用途で、「ハニカム・格子パターン」では各種の電子材料、バイオデバイスで活用されて



■ナノインプリントの基本パターン



フィルムナノインプリント
(熱可塑性樹脂表面加工)



レジストナノインプリント
(熱可塑性樹脂orUV硬化樹脂)



三木 則尚
慶應義塾大学
理工学部
機械工学科 教授

微生物活性を調べる マイクロ流体デバイスの開発

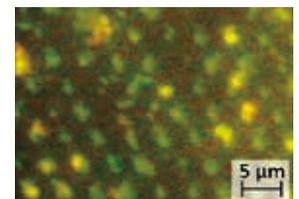
ナノインプリント装置は、インプリント用のモールドを用意すれば、数10nmオーダーから微細な構造物を常温、常圧、またドライプロセスで(液体の薬品を使わずに)簡易に製作することが可能です。ここではNANOBIICで行われている2つの研究を紹介しましょう。

1つ目の研究は、微生物をナノインプリント装置で加工したマイクロメートルの穴に固定し、微生物活性や薬品に対する反応を評価可能なマイクロ流体デバイスの研究開発です。微生物のサイズはおおよそ1~5 μm 。そこで、同等サイズの穴を製作し、そこに微生物を固定して反応薬液を供給することで、固定化された微生物数を定量的に把握しつつ、継続的に評価が可能となります。1つの穴に1個の微生物が固定されるのが理想的ですが、それには1.5~2.0 μm の穴が最適なことが実験的に明らかになっています。

しかし、この2.0 μm の穴のパターニングが曲者で、UVリソグラフィ装置を用いるには小さすぎるが、電子線描画装置には大きい中途半端なサイズでした。これに、ナノインプリント装置を用いることで、精度良く簡易にマイクロメートルサイズの穴が製作できるようになりました。

2つ目の研究は、ナノインプリント装置がドライプロセスで加工できることを利用する膨潤性ポリマの微細技術の研究開発です。膨潤性ポリマは、水を吸収することでその体積を大きく増加させるものであり、保水剤や身近なところではおむつなどに使われています。本研究では膨潤性ポリマを微細加工し、ポストプロセスとして水を与えることで、例えばアスペクト比を増加させるなどの効果を狙っています。膨潤性ポリマの微細加工中には液体の薬品を用いることができないため、従来のフォトリソグラフィは適しません。ナノインプリント装置を用いることで、数 μm オーダーの加工に成功しています。

以上のように、ナノインプリント装置は、サイズおよび材料に対して幅広い適応性を有しており、今回紹介した研究以外にも幅広い応用が期待されます。



ナノインプリントで作成した穴に固定化された微生物の蛍光写真

〈この装置の特徴〉

- 金型の型押し技術を活用して微細構造を樹脂に転写
- 射出成型や押出成型では対応できない薄膜への微細パターンに対応
- 活用分野は無制限

います。

このパターンを底面とするプレートを利用して、さまざまな細胞を、より生体内に近い形で再現できる3次元細胞培養法も実用化されています。

「ライン&スペースパターン」は電子材料や偏光板などの用途で、「メタル配線パターン」は各種の電子材料での活用が検討されています。その他には、自在な形に作られた「マイクロ流路」などのバイオデバイスが挙げられます。

■基本仕様

(SCIVAX株式会社 X-300)

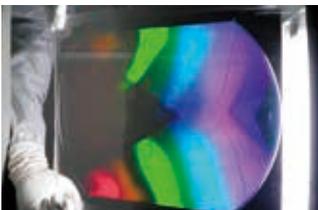
形式：熱式&UV式ナノインプリント装置
／転写方式：一括転写／被転写材料：UV硬化樹脂、熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂／最高使用温度：650℃／最大荷重力：50KN／最大ワークサイズ： ϕ 150mm
／UV機能：波長365nm、有効照射面積100mm ϕ 、最大加圧力2MPa、最大操作温度100℃

解説は…



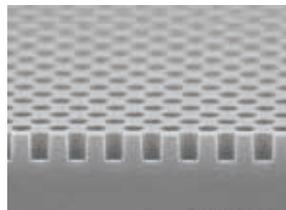
奥田 徳路さん
サイファクス
SCIVAX 株式会社
取締役副社長

■成型事例(熱式)

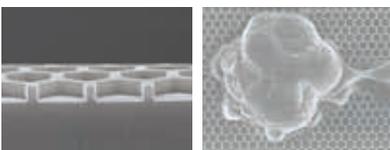


A4サイズ金型によるフィルムへの成型(ϕ 230nmピラー)で、ナノパターン特有の干渉色が確認できる

■ ϕ 230nmのホールパターン



■3次元の細胞培養の様子



底面がナノインプリントでつくられたハニカムパターン(左)の上で細胞を培養する(右)

■メタル配線パターン



高密度プラズマドライエッチング装置

ガラスなどに高速かつ精密な深掘り（孔・溝）加工

独自の磁気中性線放電プラズマ方式

この装置は、磁気中性線放電プラズマ(magnetic Neutral Loop Discharge=NLD)を使い、ガラスなどをディープエッチング(深掘り)する装置です。

石英やガラス材料、水晶、誘電体、シリコンなどに対する深掘りや精密加工には、高真空域(低圧)での高密度プラズマが不可欠です。この装置が採用している磁場環境でプラズマをつくる磁気中性線放電プラズマ方式は、低圧、高密度、低電子温度プラズマによる加工が可能な世界で唯一のエッチング装置です。

石英の加工速度や加工精度の制御方法には、プラズマの密度や圧力などの調整に加えて、フロロカーボンガス(プラズマ)の化学反応と、プラズマによる物理的な反応をマッチングさせて効率を上げます。

この装置では、加工されるガラスやシリコンなどにマイナスの電界をかけて、プラスになっている反応粒子を呼び込んでエッチング反応を加速させます。削られた穴の中に次々と入ってくるプラスの反応粒子は、加工材料表面で反応して物理化学的に削っていきます。

この装置では、反応粒子を引き込むという物理的な技術と、反応性という化学のバランスを取ることで、低圧力なのに毎分

0.5 μm 以上という速い加工速度を実現しています。また加工の線幅は最小で0.1 μm 以下、最大で100 μm 以上。加工深さもシャロウエッチングから最深100 μm 以上の深掘りまで幅広く対応できます。

MEMSから「NEMS」へと高精細化

この装置で用いられている技術は、光デバイス向け石英深掘りがベースですが、ソーダガラスへの深掘り、マイクロ流路の形成加工も可能な技術であることから、現在では、MEMS作製プロセスでの活用も進んでいます。

バイオ関連向けでは、基板に直径40nm、深さ800nm程度のナノレベルのエッチング技術を応用し、少量の血液で健康状況を分析できるようにしたり、DNAのナノソーター技術など多くの研究開発に利用されています。

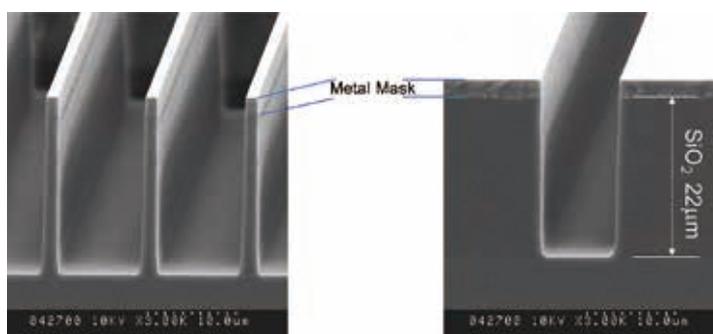
その他光関連MEMSでは、ナノレベルで表面をつるつるに加工したマイクロレンズの作成に使われているほか、光学機能を有する高誘電体材料の光デバイス製造にも活用されています。

光学素子製作ではチタンやシリコンを多層化した素材をこの装置で深掘りして多層膜デバイスの製造を行っているケースもあります。

いずれにしても微小な幅のフェンスの列を作ったり、1点の深い溝を掘ったりし、そのフェンスや溝の表面が滑らかで



■深掘りの1例



極薄幅の深掘りができている



塚原 剛彦
東京工業大学
科学技術創成研究院
先端原子力研究所 准教授

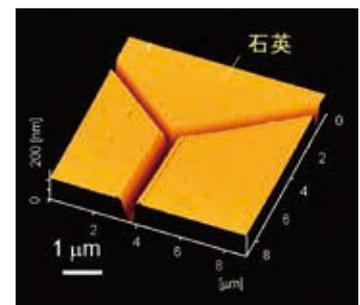
拡張ナノ空間の特性を利用した 次世代分離・分析デバイス研究

NANOBIICで行われる研究開発の1つに、拡張ナノ化学デバイスがあります。溶液の混合や反応などのさまざまな化学操作を、ガラス基板などに彫り込んだ10~100nmスケールの空間(拡張ナノ空間)に集積化させ、高度な分離・分析システムを構築するものです。この拡張ナノ空間では、マイクロ空間とは全く異なるユニークな溶液・流体特性を発現するため、単一分子レベルでの分離・分析が可能になります。

拡張ナノ化学デバイスを実現するには、複雑な幅と深さを持つ拡張ナノサイズのパターンを、ガラスやシリコン基板上に高精度に彫り込む必要があります。通常のドライエッチングでは、フッ素系ガスをプラズマ化し、プラズマ中に生成するフッ素イオンとラジカルによってガラスやシリコン基板が彫られます。一方、NANOBIICに設置されている高密度プラズマエッチング装置はイオンの直進性が高く、イオン性の強いエッチングが可能で、高速でアスペクト比(幅に対する深さの割合)の大きな溝を形成できます。

例えば、石英基板に塗布したレジスト上に、Y字形状のナノパターンを描画・現像した後、この基板をエッチング容器内にて CHF_3 と C_3F_8 の混合ガスを用いてエッチングすると、数分で幅・深さ共に100nmスケールのY字型拡張ナノ流路を作製することができます(図)。この時のエッチングレート(単位時間当たりのエッチングされる深さ)は100nm/分程度。この加工基板と上板を貼り合わせた後、Y字型ナノ流路の2方向からそれぞれ異なる溶液を導入し、ナノ流路内で高速・高効率な化学反応が実現され、その有用性が実証されます。

このエッチング装置は、ガスの種類、エッチング時間、電流値などの条件を変えるだけで、簡単にマイクロから拡張ナノスケールまで幅広いサイズを加工できるという点で、非常に魅力的なツールです。



Y字型拡張ナノ流路の原子間力顕微鏡像

〈この装置の特徴〉

- 低圧、高密度、低電子温度プラズマによる加工が可能
- 低圧力下で毎分0.5 μm 以上の加工速度を実現
- 光・MEMS/NEMSデバイスの製造に活用

真っすぐに深掘りできているので、さまざまなマイクロマシンの開発につながられます。さらにこの装置ではナノサイズの溝を掘ったりすることで、MEMSからNEMS(Nano-Micro Mechanical System)まで幅広い加工技術を備えています。

■基本仕様

(株式会社アルバック NLD-570)

プラズマ源：磁気中性線プラズマ／基板サイズ： $\phi 50 \sim 200\text{mm}$ ／基板ステージ：ESC or メカチャック／アンテナ及びバイアス：RF高周波電源搭載／排気系：エッチング室TMP+DRP／制御系：PLC+TFTタッチパネル／ガス導入系：最大8系統／アプリケーション：石英、パイレックス、低膨張ガラス、水晶、誘電体等／装置コンセプト：開発試作

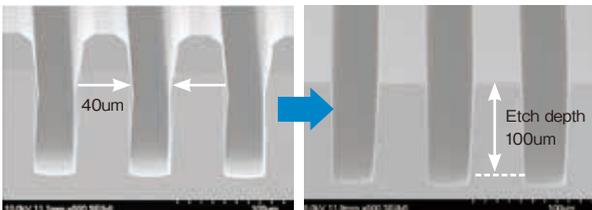
解説は…



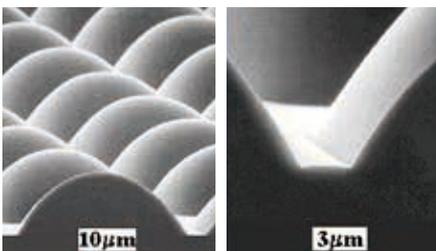
森川 泰宏さん
(工学博士)

株式会社アルバック
半導体電子技術研究所
研究開発部

■石英深掘り(左)とレジストマスク除去後(右)



■マイクロレンズ加工の例



高さは10 μm (左)、底部の溝幅は3 μm (右)

シリコンドライエッチング装置

高速かつ高精細、多様な形状の深掘り加工

ボッシュ・プロセスを用いたシリコンの深掘り

この装置、ASEシリーズは、高密度プラズマ(誘導結合プラズマ; ICP (Inductively Coupled Plasma))を利用してシリコンウエハを高速かつ高精細に深掘りできるドライエッチング装置です。シリコンウエハのエッチング手法には、ウエットエッチングとドライエッチングがあります。KOH水溶液などを用いてシリコンを腐食溶解させるウエットエッチングは、シリコンの結晶面に沿った結晶方位に制限された加工となります。一方、フッ素や塩素などのガスを用いて、プラズマにより生成されたイオンやラジカルとシリコンを反応させるドライエッチングは、高速で、より微細で高いアスペクト比(深さ/幅の比)の深い加工が可能です。半導体デバイスでは数 μm のエッチングですが、10 μm 以上のエッチングをDRIE (Deep Reactive Ion Etching) と呼び、MEMSや光デバイスなど、加工精度や深い加工形状がキーとなるデバイス開発に広く活用されています。

この装置では、ドイツのRobert Bosch社により開発・特許化されたドライエッチングの手法「ボッシュ・プロセス」を用いています。ボッシュ・プロセスは、 C_4F_8 プラズマによる保護膜形成で側壁のエッチングを抑え、 SF_6 プラズマにより深掘りする工程を交互に繰り返すことで、垂直方向へのシリコンの深掘りを行う手法です。

高精度と高速処理を両立させる各種機能

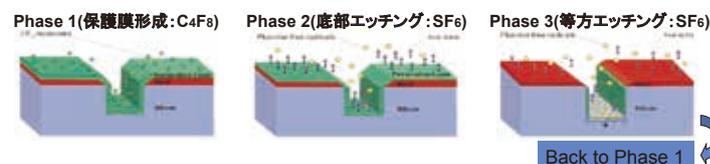
さらに、この装置では、基本的なボッシュ・プロセスに加え、プラズマを発生させる圧力条件などを処理時間の経過とともに変化させ、常に最適な条件でのエッチングができるようなプログラム(パラメータランピング機能)を備え、高アスペクト比(極細幅での深掘り)の加工時に、深掘り部分の先端が先細り形状になることを防止しています。

さらに、この装置では、高マスク選択比(厚膜レジストやメタルマスクによらず、現存のマスク厚で高アスペクト比を実現する)のエッチングが可能で、エッチングステップと保護膜形成ステップとの切り替えを高速かつ自動で制御することにより、加工精度を維持しながら深掘りすることができます*。また、ボッシュ・プロセス特有の加工側壁における凹凸形状(スキヤロップ形状)をプロセス条件により低減できます。さらに、SOIウエハを用いたMEMSセンサ等の製造において、酸化膜上にあるシリコンの貫通エッチング時に課題となるノッチング(底部に+イオンが滞留することでできる異常形状)発生も防止できるSOIノッチフリー機能を有しています。

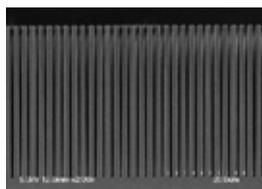
また、このASE装置は、 $\mu\text{-TAS}$ 用流路アプリケーションにも対応しており、エッチング側面の粗さが少なく、テーパ角を $60^\circ \sim 85^\circ$ まで角度制御ができることも魅力の一つです。さら

*シリコン深掘り加工の一例: エッチングレート $\sim 6 \mu\text{m}/\text{分}$ 、対レジスト選択比 $50 \sim 180:1$ 、アスペクト比 ~ 50 。

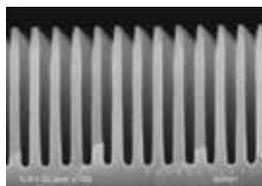
■ボッシュ・プロセス



■高アスペクト比のディープエッチング例(1 μm 幅、35 μm 深さ)



■微細パターンエッチング例(50nm幅、0.7 μm 深さ)



光MEMSデバイスの開発

シリコン深掘装置は、ボッシュプロセスによりシリコン基板を非常に高いアスペクト比でエッチングすることが可能なドライエッチング装置の一つです。高アスペクト比の溝をサブミクロンの精度で作製することができ、図2に示すような光ファイバーを高いアライメント精度で設置・固定することもできます。また、SOI(Silicon-on-Insulator)と呼ばれる、シリコン酸化膜が単結晶シリコンによってサンドイッチされた特殊な3層ウエハを用いることによって、より複雑な構造も作製可能です。例えば、SOI上に作製されたデバイス直下のシリコン酸化膜をフッ酸等により除去することで可動部が固定部に懸架された梁状の構造物を形成することができます。可動部には図3に示す櫛歯状のアクチュエータを接続することで、静電引力により可動部を引き付け、デバイスを駆動することが可能です。

図4は我々が開発したマイクロフレネルミラーのSEM画像です。中央のミラーと櫛歯型アクチュエータ直下のシリコン酸化膜は除去されており、ミラーデバイスは空中に浮いています。アクチュエータに電圧印加することでミラー角度を自在に変更することができます。

SOIウエハのエッチングには注意が必要です。ノッチング現象と呼ばれる底部のダメージや、マイクロローディング効果と呼ばれるエッチングレート開口比依存性があります。NANOBIICではこれら問題を解決するレシピやノウハウが蓄積・共有されており、円滑なデバイス開発ができます。

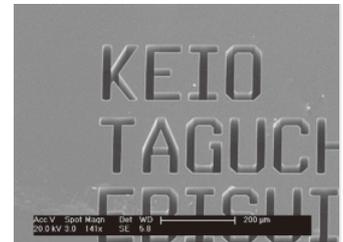


図1 シリコン深掘装置による微細な溝構造

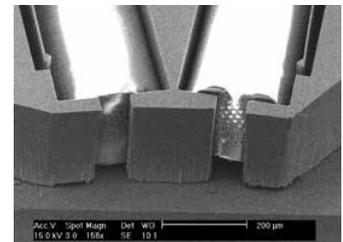


図2 光ファイバーはバネ構造により溝の中に固定されています

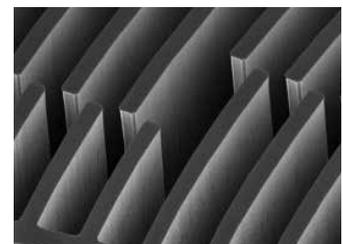


図3 櫛歯型静電アクチュエータ

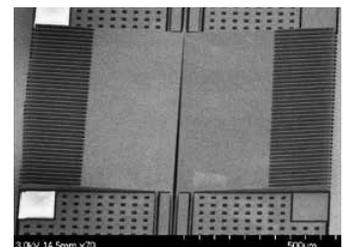


図4 マイクロフレネルミラー

(慶應義塾大学 田口准教授)

〈この装置の特徴〉

- ボッシュ・プロセスにより、高選択比かつ高アスペクト比の垂直深掘りを実現
- SOIノッチフリー対応や、高速かつ高精度なエッチングが可能
- 多種多様な形状での加工ができるプロセスライブラリが充実

に、イギリスSPTS Technologies社と様々な加工事例データ(プロセスライブラリ)を共有しており、通常の直線形状や穴形状の深掘りに加え、注射針構造や逆円錐構造など多種多様なエッチングが可能となっていることも見逃せません。

■基本仕様

(住友精密工業株式会社 MUC-21 ASE装置)

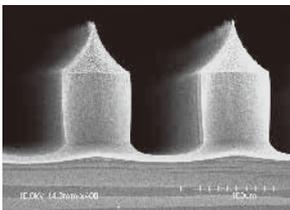
プラズマ源：誘導結合プラズマ(ICP) / 基板サイズ：φ100mm / 基板ステージ：メカチャック / 基板の搬送：全自動 / アンテナ及びバイアス：RF高周波電源搭載 / 排気系：エッチング室TMP+DP、ロードロック室SP / 制御系：PLC+PC制御 / ガス導入系：最大8系統(内、SF₆、C₄F₈、O₂、Arの4系統使用) / アプリケーション：シリコン深掘り加工によるMEMSデバイス等(装置コンセプト：製品)

解説は…

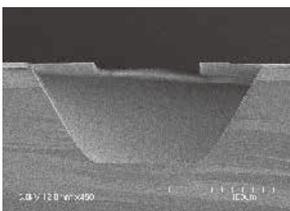


金尾 寛人さん
SPPテクノロジーズ株式会社
マーケティング部
マーケティングコミュニケーショングループ長

■多様なエッチング形状①注射針構造



■多様なエッチング形状②テーバーエッチング



超低真空走査電子顕微鏡

低真空モードで、前処理なしの効率的観察

前処理なしで含水試料の観察が可能

本装置は、細く絞った電子線を試料上で2次元的に走査し、試料から得られる2次電子や反射電子などを用いて拡大像を得ることができる走査電子顕微鏡 (SEM=Scanning Electron Microscope) です。

試料表面の凹凸情報や組成情報を得るだけでなく、X線検出器を用いることで元素の定性・定量分析も行えるため、異物分析など品質管理用途で用いることも可能であり、幅広い分野に応用可能な顕微鏡です。

本装置の大きな特徴の1つが、含水試料を観察できることです。通常、走査電子顕微鏡で試料を観察する際には、試料室内を真空環境にする必要があります。通常は、試料室内を大気圧の1,000,000,000分の1 (10^{-4} Pa) にまで高い真空度にして観察します。そのため水分や油分が付着している場合は蒸発してしまいます。しかし本装置では、大気圧の約100分の1 (最大で2600Pa) まで真空度を落として観察ができる真空モード (ESEM) があり、水分や油分を保持できる環境 (液相領域) を試料室内につくりだすことができます。

これにより、微生物や細菌、植物といった含水試料でも前処理する必要がなく、そのままの状態での観察が可能です。

また、温度と真空度を調節することで、試料付近の湿度を制御できます。これにより加湿 (湿潤)、除湿 (乾燥) といった湿度

を変化させながら試料が変化の様子を観察することができますので、例えばゲルが湿気を吸収して体積を増す膨潤の過程を観察したり、水溶液に溶け込んでいる薬剤結晶が乾燥過程において新たな結晶表面を見せる様子を観察することも可能です。

高温加熱観察や動的観察も

本装置のもう1つの大きな特徴として、試料を加熱したり冷却しながら表面構造の変化を観察できる機能があります。

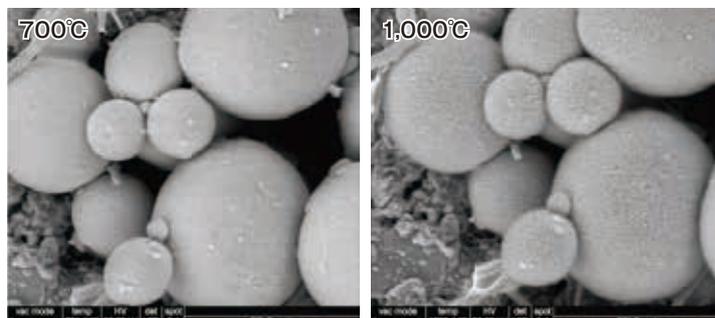
通常、試料を加熱していくとアウトガスが発生し、これによって電子銃部分の真空度が下がってしまい、装置の故障を招くことがあります。しかし、この装置は、発生したガスを外部に逃す特殊な排気構造を備えており、アウトガスの影響を極力抑えて観察できます。NANOBIICに導入されている装置仕様では、最大1,000℃までの加熱観察が可能です。

この機能を活用することで、例えば結晶Si系太陽電池の電極部の焼結の過程を観察できます。焼結時の結晶のでき方や大きさの違いは電極としての性能を左右するパラメータの1つであり、性能評価手法の1つとして用いることも可能と考えられます。

逆に-20℃まで冷却しながらの観察も可能であり、氷点下以下での低温環境で材料が劣化しないかを評価したり、糖液を凍らせて表面構造の変化を観察することで従来にはない食感



■金属粒子の加熱観察



固体から液体、液体から気体への相変化の直接観察も

研究開発の成功には、製作した微細加工物の詳細な評価が不可欠です。

通常の走査電子顕微鏡 (SEM) による観察は高真空中で行われるため、ポリマや生体材料など水分を含むものは特殊な処理をしなければ観察できず、またその処理による影響も無視できません。

しかしNANOBIICにある雰囲気制御型のSEMでは、サンプルに合わせて雰囲気圧力を設定して使用することができ、上述したようなサンプルを直接観察することが可能です。

また観察中に基板温度や雰囲気圧力を変化させることが可能なので、材料の固体から液体、液体から気体への相変化を直接観察することも可能です。

もちろん、通常のSEM観察やEDS (エネルギー分散型X線分光透過電子顕微鏡) 観察も可能であり、汎用性の高い装置なので、ぜひ活用していただきたいと思います。

(慶應義塾大学 三木教授)

〈この装置の特徴〉

- 低真空下で含水状態の試料の観察が可能
- 加熱・冷却しながら表面構造変化を観察
- 幅広い用途での観察ニーズに活用できる

のアイスクャンディーを開発するといったアイデアも広がるでしょう。

さらに取得した静止画をつなげて動画ファイル (.avi) として保存、再生できますので、変化の過程をよりリアルに確認することができます。

■基本仕様

(FEI社製 Quanta250)

電子銃：タングステン方式

分解能：高真空(高加速電圧)3.0nm

(30kV) / 高真空(低加速電圧)8.0nm

(3kV) / 低真空(高加速電圧)3.0nm

(30kV) / 低真空(低加速電圧)10.0nm

(3kV) / ESEM3.0nm (30kV)

試料室真空度：高真空 6×10^{-4} / 低真空

10 ~ 130Pa / ESEM10 ~ 2600Pa

加速電圧：0.2 ~ 30kV

照射電流：2 μ A

倍率： $\times 6 \sim \times 1,000,000$

試料ステージ：X - Y50mm / 傾斜-15 ~

75° / Z50mm / 回転360°連続

解説は…



宮本 丈司さん

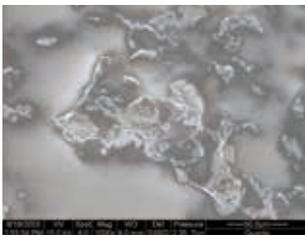
株式会社島津製作所

分析計測事業部

グローバルマーケティング部

電子線応用機器担当 主任

■オイル中の金属



■NaClの加湿観察



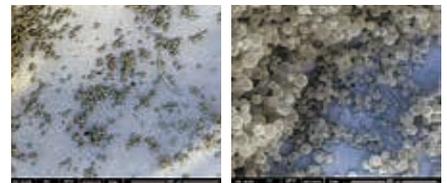
■加熱ステージ



■はんだの溶融過程観察



■ミクロスフェアの膨張過程観察



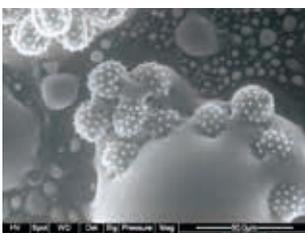
■チーズのカビ



■藻類



■水滴に吸着した花粉



マイクروسコープ

ナノレベルの高精度 3次元形状測定装置

光学顕微鏡・SEM・粗さ計の課題をレーザーで解決

この装置は、観察サンプルの表面や立体的な形状を、レーザーを照射することによって観察する顕微鏡で、光学顕微鏡とSEM(走査電子顕微鏡)、粗さ計の3つの機能を兼ね備えています。

測定の原理は次のようなものです。

装置は、短波長レーザー光源と白色光源の2つを備えています。この2つの光によりカラー超深度、レーザー超深度、高低画像を構築するために必要な色、光量、高さの情報を得ます。超深度とは、高さが違う対象物でも、どのポイントにおいてもすべてピントが合っているということです。

レーザー光源は点光源のため、X-Yスキャン光学系を介してサンプルを1024×768ピクセルに分割してスキャンし、各ピクセルごとの反射光を受光素子で検出します。次に、対物レンズをZ軸方向に駆動してスキャンを繰り返すことでZ軸位置ごとの反射光量を取得します。こうして反射光量が最も大きいZ軸位置を焦点位置として、高さ情報と反射光量を検出します。これにより全体に焦点の合ったレーザー光量超深度画像と高低画像が得られます。

なお、この装置は、ピンホール共焦点方式を採用しており、焦点位置以外からの光を完全に排除するほか、明暗感度を装置側が自動調節するため、高精度で高解像度の観察が可能に

なっています。

一方、白色光源の反射光は、カラー CCDカメラで検出します。各ピクセルごとにレーザー光源で検出した焦点位置での色情報を取得するので、SEMでは不可能だったリアルカラー観察を実現しています。

1ピクセルは0.5 μm 、高さ方向は0.01 μm 間隔で、最高倍率16000倍で観察できます。つまりこの装置は、光学顕微鏡よりもはるかに高い倍率で、凹凸でピントが合わないことを気にせずに、SEMではできないカラーの観察画像を大気中で見られ、非接触なので観察物に傷を付けずにナノオーダーで(粗さ計の触針の先端径は2 μm 程度)観察することが可能です。

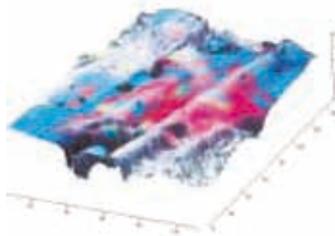
「表面を見たい」というあらゆる要望に

装置本体の大きさは光学顕微鏡と同程度であることから、大変に使い勝手が良く、「表面の様子がどうなっているのかを見たい」という要望には幅広く応えられます。操作についても、各種調整から観察・記録・計測など、そのほとんどを画面上でのマウス操作だけで扱うことができ、誰でもすぐに計測することができます。

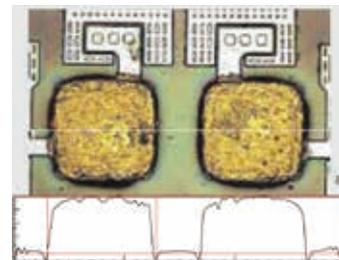
活用の一つのポイントとしては、電子顕微鏡などと異なり、対象物の観察・計測に、特別な前処理を必要としないことにあります。つまり、対象物の材質によらず、素早く正確に計測できるのです。例えば木材や皮、プラスチックなどの表面観察に



■レーザー顕微鏡の画像



■高さ・幅・断面積計測の結果画像



半導体金バンプの形状測定例

ガラスの流路加工プロセスと
電気浸透流の関係研究

この装置は、サンプルステージにサンプルを置き、焦点を合わせて観察するだけで、微細構造の3次元観察及び表面粗さや段差の計測が可能です。

電子顕微鏡のように真空環境下にする必要がなく、また原子間力顕微鏡のようにプローブの取り付けの手間もありません。さらに装置のユーザーインターフェースが優れており、使い勝手が極めてよい装置なので、さまざまな分野で活用していただけるでしょう。

NANOBIICでは、マイクロ・ナノ流体デバイス開発のための基礎研究として、ガラスの流路加工プロセスと電気浸透流の関係を明らかにする研究が行われています。

ガラスは、フッ酸によるウェットエッチング、NLDによるドライエッチング、さらには機械加工による加工が可能です。それぞれの手法により加工後のガラス表面の特徴が異なります。

本研究では、図1に示すように、加工後のガラスをレーザー顕微鏡で観察し、表面粗さ情報を取得した後、マイクロ粒子画像粒子測定法を用いて計測した電気浸透流を関連付けることに成功しています。

また図2は、ステンシルマスクを通して、エレクトロスプレー法によりガラスナノ粒子を基板に析出させたもので、レーザー顕微鏡により簡易に観察することができます。

(慶應義塾大学 三木教授)

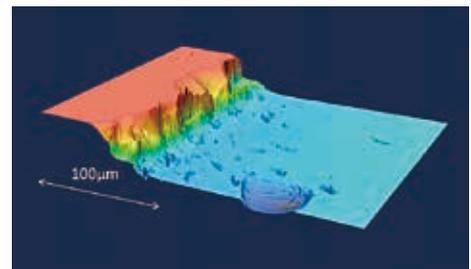


図1. 機械加工されたガラス表面形状



図2. ガラスナノ粒子で書かれた微小な文字

〈この装置の特徴〉

- レーザーで、対象物表面を超深度、カラー、非接触で観察
- 角度や表面積、体積の状態も把握
- 測定したデータを3次元データとして可視化し、あらゆる方向から視覚的に解析

も使えます。

また、測定したデータをもとに3次元画像を作成することができるのも、この装置の大きな活用ポイントです。具体的な測定データでの評価だけでなく、対象物の表面の「かたち」を3次元画像で可視化することで、例えば良品と不良品の違いを視覚的に把握することができます。製品に「へこみ」や「傷」といった不具合があった場合、数値によりそのへこみが限度範囲内か否かを正確に把握することはできても、「かたち」まではわかりません。「かたち」が分かれば、例えばへこみがどの方向からついたかなども理解することができます。

■基本仕様

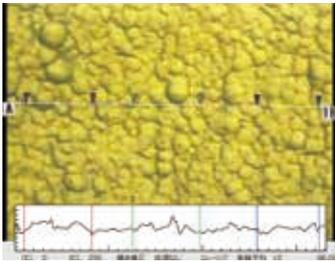
(株式会社キーエンス VK-8510)

光源：685nm半導体レーザー／レーザー走査：1024×768ピクセル／観察倍率：200～16000倍／光学ズーム機能：2X 4X／デジタルズーム機能：2X 3X／高さ測定範囲：7mm／高さ方向最小測定分解能：0.01µm／高さ方向繰り返し精度σ：0.03µm／最大試料サイズ：高さ28mm 直径318mm／透明体の膜厚測定：あり

解説は…

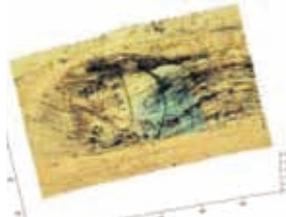
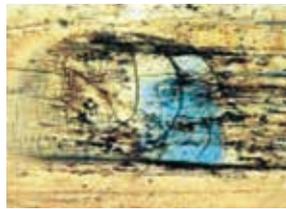
秋山 雄一さん
株式会社キーエンス
マイクロSCOPE事業部
販売促進グループ

■線粗さの計測結果画像



銅箔の線粗さ測定例

■粗さ計として使用した場合の
同じ観察箇所での2D画像
(上)と3D画像(下)



マイクロ・ナノPIV (可視化画像流速計測) システム

微小流動の流速計測と分布解析のために観察を可視化

PIVの最先端の仕様

この装置は、マイクロ・ナノレベルでの微小流動(マイクロフルイデイクス)の流速計測と分布解析のためのシステムです。

PIVとは、「Particle Image Velocimetry (粒子像流速計)」のことで、一般的には風洞実験などでよく使われている計測技術です。ある流れの中に粒子マーカーを注入し、流れにレーザー光をシート状に照射して実際の流れを可視化した上で、断面を高解像度カメラで撮影します。これを繰り返して時間的に連続した2画像を比較分析し、粒子の位置と時間の変化(時間平均)から流速を計算します。

このシステムはマイクロ・ナノレベルでの微小流動用なので一般のPIVシステムとは機器構成が異なります。超高感度高速カメラ、連続発振レーザー、高速共焦点スキャナー、対物レンズスキャナーなどの機器類に加え、画像情報を分析して表示するソフトウェアから構成されます。ソフトウェアは、機器類の制御だけでなく画像撮影、画像解析(速度、濃度、混合、拡散、温度、形状解析、ブラウン運動量測定)などを行います。

PIVにおける流速計測の基本は2枚の画像の粒子の位置変化を捉えることです。一般に顕微鏡によるマイクロPIVでは焦点深度が厚いために(10 μm 程度)粒子画像が不鮮明になるため、複数の画像を撮影し時間的に平均して精度を確保します。しかし、この装置では高速共焦点スキャナーと超高感度高速

度カメラの組み合わせにより、焦点深度が非常に薄い鮮明な画像を高速で撮影することができます。

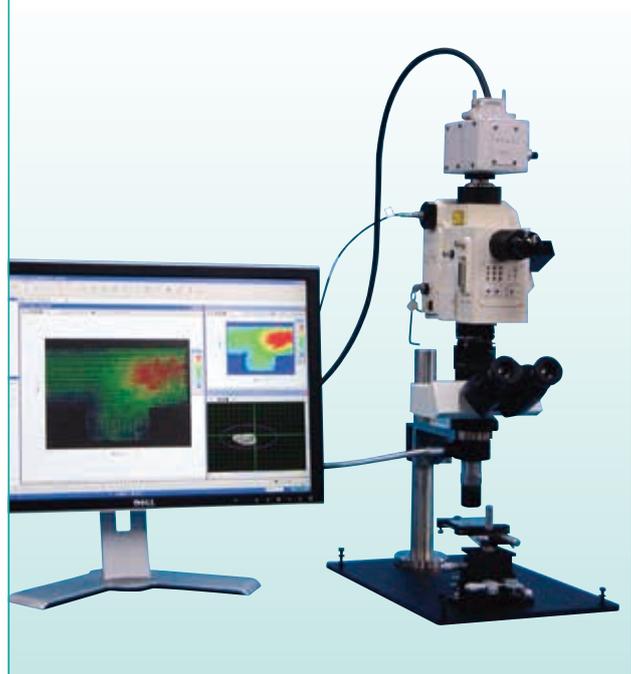
通常、マイクロPIVでは測定深度は対物レンズの設計上の焦点深度よりも厚くなっています。そのために測定深度内に異なる速度成分が混在してしまって測定誤差が生まれやすくなるだけでなく、撮影画像もぼんやりしてしまいます。

共焦点スキャナーを用いることにより、測定深度のピーク部分だけを取り上げることができるために、測定深度内の異なる速度成分は排除され、高精度の計測が可能となります。撮影画像も鮮明で、粒子をしっかりと確認することができます。

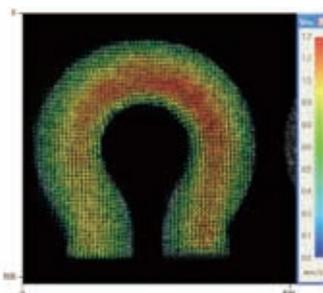
空間平均法で解析するアルゴリズムも搭載

さらにこの装置には、慶應義塾大学の菱田・佐藤研究室によって開発された「SAT-PTVマイクロPIV解析アルゴリズム」も搭載されています。

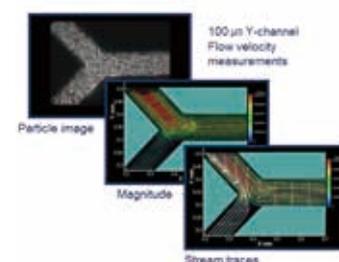
マイクロ流体デバイスのスケールダウンが進むにつれて計測に必要な粒子マーカーもまたサブミクロンオーダーになります。しかし、極小の粒子マーカーで高精度な計測を行うためには、粒子が不規則に運動してしまうブラウン運動の影響を排除しなければなりません。そうでなければ不規則な運動がノイズとなり、間違っただけのデータを導き出すからです。そこで2枚の粒子画像の時間的な変化ではなく、空間平均法で粒子のランダムな動きを平均化して瞬間速度を計測します。



■共焦点スキャニングマイクロPIVによる100 μm マイクロチャンネル内の流速分布



■内径100 μm Y字型の流路を粒子が流れる画像





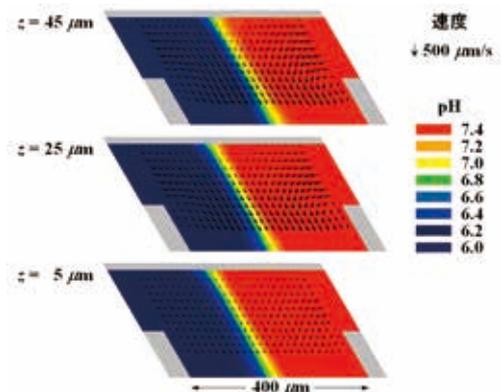
佐藤 洋平
慶應義塾大学
理工学部
システムデザイン工学科 教授

化学チップ内の化学反応を時空間で捉え、
精緻な制御技術を創製する

化学チップ内にはマイクロチャネルに沿って薬品(液体)が流れ、反応、混合、分離、抽出等を微量かつ短時間で行う研究開発が多くの研究者によって行われています。目に見えないからといって、今までの経験ばかりに頼って開発しても時間とコストの無駄です。見えないからこそ、流れている液体の速度、温度、pHや濃度を3次元的に、しかも時系列にて定量的に把握することが必要不可欠です。

NANOBIICに整備されたマイクロPIVシステムは、主に高速共焦点スキャナー、ピエゾシステムおよび超高感度高速CMOSカメラから構成されており、マイクロチャネル内液体の速度ばかりでなく、温度やpH等のスカラー量のイメージングにも適しています。本システムの開発段階において汎用性を実証するため、マイクロチャネル内薬品の化学反応過程における速度・pHの同時計測を行い、下図に示すように速度・pH3次元分布の取得に成功しております。さらに、計測の際に混入する微小蛍光粒子の電気泳動移動度さえ把握できれば、本システムを用いて電気浸透流速の計測も可能です。

現時点での研究者の利用状況を鑑みると、電気浸透流速の計測結果を用いたマイクロチャネルを構成する材質のゼータ電位の評価、イオンインジケータを用いた細胞周りのイオン分布の計測、異相界面極近傍の速度・濃度分布計測等に利用されております。



T字型マイクロチャネル内の速度・pH3次元分布

〈この装置の特徴〉

- 高速共焦点スキャナーなどで焦点深度の深い鮮明画像
- 100μmサイズの液滴の内部流動も観察
- ラボ・オン・チップでの観察などで威力を発揮

こうした技術により、この装置は、マイクロレベルの流路における流速の計測に威力を発揮します。100μmサイズの液滴の流れだけでなく、その液滴の内部の流動まで捉えることができます。

この装置は、化学やバイオサイエンス分野での活用が期待できます。たとえば、さまざまな化学実験が1枚の微細チップ上でできる「ラボ・オン・チップ」によりDNAの動き、細胞の外周部分の流れ、毛細血管中の赤血球の流れなどを観察できます。また、複数の液体を分子レベルで混合した時に分子構造や界面の変化を観察したり、混合の途中でレーザーなどを照射して化学反応を制御したときの流れの変化を観察したりできます。

実用化研究では例えば、人工心臓をつくらうとする際、細い血管の中を血液が流れると血管と血液の間で剪断力という擦れる力が発生し赤血球が壊れてしまいます。これを的確に計測して剪断力が発生しにくいポンプ構造や、流路(血管)を設計するといったケースも報告されています。

■基本仕様

(導入装置はオーダーメイド)

各種機器を西華産業株式会社がコーディネート

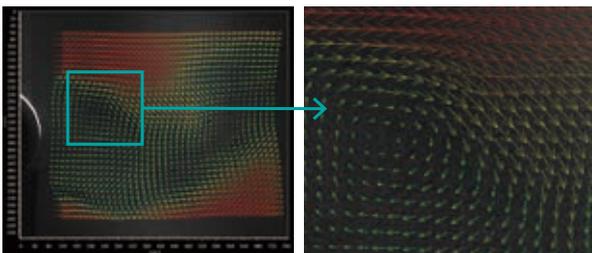
測定項目：速度分布(蛍光粒子使用)、濃度分布(蛍光剤使用)、PH分布(蛍光剤使用)、ブラウン運動量(蛍光粒子使用、温度分布、粘性分布等) / フレームレート：~2000fps(共焦点画像) / 計測可能流速：使用する対物レンズによるx10で~5mm/sec程度、x50で1mm/sec程度 / 時間分解能：2KHz / 測定焦点深度：Min 1μm程度(使用する対物レンズによる) / 焦点スキャンストローク：100μm / 焦点スキャン分解能：1μm

解説は...



安木 政史さん
西華産業株式会社
東京営業第二本部
営業第一部 工学計測
グループ テクニカル
アドバイザー

■粒子の動きの解析画面



部分毎の細かな流れの違いを観察できる

超解像度レーザー顕微鏡

蛍光色素・蛍光タンパクで80nmの高解像観察

誘導放出抑制で光回折の限界を超える

光学顕微鏡は、16世紀末に発明されて以来、細胞や結核菌の発見など、生命科学の発展に多大な貢献を続けてきました。光を用いて観察する手法には、試料が持っている情報を非侵襲で比較的容易に観察できるメリットがあります。このメリットを最大限に生かすために、レンズ性能の向上が図られる一方、「共焦点方式」や蛍光を利用した観察技術も開発されました。

共焦点方式は、光源と試料の像の焦点位置を同じにすることで、より高い解像度を得ます。実際には、スポット(点)が並んでいくように試料をスキャンします。一方、蛍光の利用では、試料に蛍光性を持たせ、レーザー光などで蛍光物質を励起させて状態を観察します。

共焦点方式では、スポットの径を小さくすれば解像度を上げられますが、レーザー光源でも光の回折限界である200nmの分解能を超えることはできませんでした。

光学顕微鏡で共焦点方式をベースにしなが、観測の限界を乗り越えたのが「超解像レーザー顕微鏡Leica TCS STED CW」です。TCSはTrue Confocal Scanner(共焦点スキャナ)、STEDはStimulated Emission Depletion(誘導放出抑制)、CWはContinuous Wave(連続波)を意味します。STEDとは、蛍光色素の励起した電子を、蛍光を発する前の基底状態に戻すことで発光を抑制することを言います。

具体的には、通常の共焦点顕微鏡に用いられる励起レーザーに加えて、より波長が長く出力の調整が可能な第2のレーザーを用います。まず励起レーザーによって試料の蛍光色素を励起させますが、続いて第2レーザーから出されたリング状のレーザーが、試料スポットの周縁部の励起を基底状態に戻します。こうすることで、試料スポットは小さくなり、より高い解像度が実現されます。本装置では、光回折の限界を超えた80nmの解像度が得られます。観察できる範囲は、150 μ m四方です。

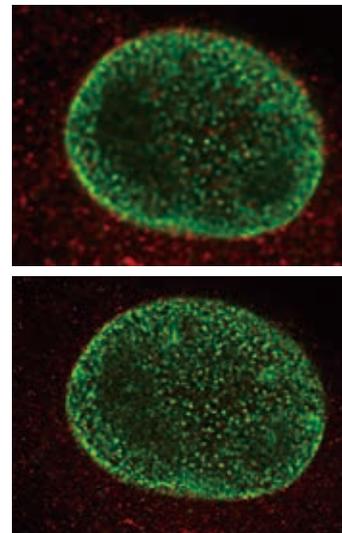
「生きたままの状況の変化」を観察できる

超解像度レーザー顕微鏡を使うことで、例えば細胞内の微小管で1本に見えていたものが実は2本であることが分かったり、細胞内の分子の偏在が分かったり、細胞間の相互作用の実態などが分かったりしています。

高い解像度だけを望むのであれば電子顕微鏡を活用すればよいのですが、電子顕微鏡では試料の前処理が必要で、そのために試料の性質が変化してしまう恐れがあります。つまり、「形状を見る」ことに力点が置かれます。これに対して光学顕微鏡は、生きたままのリアルな状態を捉えられ、例えばターゲットの遺伝子がいつどこで発現するかといった「状況の変化を見る」ことができます。また厚みのあるサンプルでは、高さ位置(10~15 μ m)を変えることで断面観察も可能です。



■真核生物の核膜孔複合体の共焦点顕微鏡画像(上)とSTED画像(下)





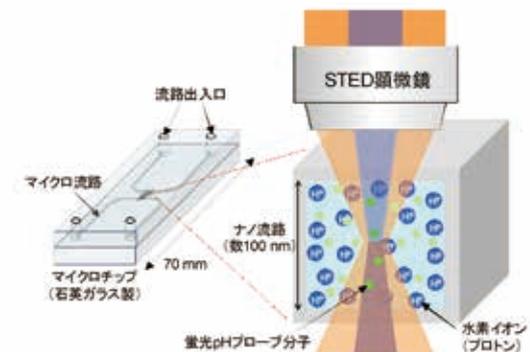
嘉副 裕
 東京大学
 工学系研究科
 応用化学専攻 特任講師

ナノ閉空間における溶液中の プロトン濃度分布計測

我々のグループでは、蚊の針よりもはるかに細い数10nm～数100nmの超微小空間の研究を行っています。このようなナノ空間は生体の細胞内組織や岩盤中の多孔質など自然界にありふれているにも関わらず、科学としては未踏の領域でした。その原因として、空間のサイズが光の波長と同等かそれより小さいため、有効な実験ツールがなかったことが挙げられます。

そこで我々は、超解像顕微鏡(STED顕微鏡)を用いてナノ空間におけるイオン挙動の計測を行いました。STED顕微鏡といえば神経細胞ネットワークなど生体観察への応用が主流ですが、我々はこれをガラス基板上に加工した流路内の観察に用いています。空間の形状・サイズを制御したナノ流路を用いることで、ナノスケールの諸現象を定量的に解明することができます。

溶液の水素イオン(プロトン)の濃度、即ちpHによって蛍光が変化する分子プローブを用いて測定したところ(下図参照)、400nmの閉空間では水に含まれる水素イオンの濃度が通常の20倍にもなることが見出されました。また、流路の壁近傍で水素イオン濃度が特に高いことが判りました。超微小空間であるため体積に対する表面の割合が圧倒的に大きく、さらに水分子個々の挙動が顕在化するため、通常の溶液と異なる性質が発現していると考えられます。これは、水素燃料電池におけるプロトン伝導機構や生物のエネルギー生成を理解する上で非常に重要な知見といえます。



〈この装置の特徴〉

- 光学式ベースで超解像を実現
- 一般的な蛍光色素、蛍光タンパクを利用可能
- 生細胞の実態を超解像で観察可能

Leica TCS STED CWは、標準的な蛍光タンパクを利用できること、ソフトウェアの操作性が容易であること、動画ファイルが作成が可能であることなど多くの特徴を備えています。共焦点レーザー顕微鏡を使った経験のある方ならば、難なく利用できるでしょう。

■基本仕様

(ライカ マイクロシステムズ株式会社
 Leica TCS STED CW)

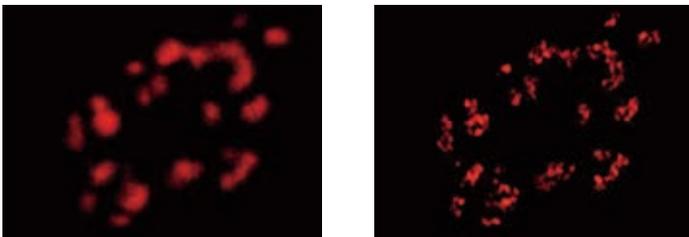
励起方法: Arレーザー (488nm, 514nm)
 STED=ファイバーレーザー (592nm)
 XY方向の分解能80nm(サンプル・包埋方法・染色方法により異なる)
 記録速度: 1～20フレーム/秒

解説は…

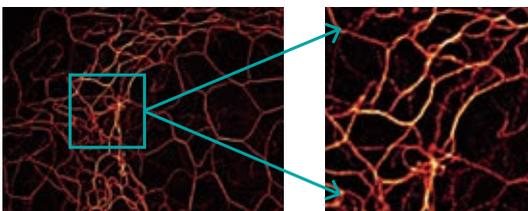


田中 晋太郎さん
 ライカ マイクロシステムズ株式会社
 ライフサイエンス事業本部
 チーフスペシャリスト

■ショウジョウバエ神経筋接合部の共焦点顕微鏡(左)とSTED(右)の画像。STEDの方がより詳細な画像が得られている



■YFPで蛍光標識されたケラチンフィラメントのSTED画像。全体画像(左)からズームアップされたSW-13細胞のケラチンフィラメント(右)。



断面試料作製装置

金属から有機物まで精緻な試料断面を作製

スパッタリングにより試料を研磨

断面試料(アルゴンイオン試料)作製装置「クロスセクションポリリッシャ™」は、走査電子顕微鏡(SEM)や電子プローブマイクロアナライザー(EPMA)、オージェイマイクロプローブ(Auger)などのための断面試料作製装置です。

試料の断面を見ることで物の性質を検証できますが、試料を折ったり削ったりすると断面の状態がつぶれ、試料のあるがままの姿を捉えられません。例えば、硬い素材ともろい素材が混在している物質では、表面を機械で研磨してしまうと構造が崩れ、2つの素材の正確な姿を見ることができなくなります。試料断面の作製には熟練が必要であり、仕上がりに個人差も大きく出てしまいます。

断面試料(アルゴンイオン試料)作製装置は、アルゴンイオン銃と遮蔽板を使うことに大きな特長があります。アルゴンイオン銃からは電圧を印加されたアルゴンイオンビームが放出され、試料の構成原子にエネルギーを与え、構成原子を試料外に弾き出します(「スパッタリング」)。

本装置では、試料の真上にスパッタリングされにくい遮蔽板を置いた上で、アルゴンイオンビームを照射します。すると、遮蔽板から突き出た部分だけがスパッタリングされ、試料の断面が露出されます。本装置の処理領域は500 μm 以上と広く、加工位置は10 μm の精度で設定できます。

また、アルゴンは不活性化ガスなので、試料に化学的な変化が起きることがありません。ですから金属から有機物まで断面試料を作製することができます。

ものづくり現場の多様な用途に対応

スパッタリング現象を応用して観察したり加工したりする装置としてFIB(Focused Ion Beam=集束イオンビーム)があります。FIBが10 μm 以下の微細な加工精度なのに対し、アルゴンイオン試料作製装置は1mm以下から数十 μm の加工精度となります。つまり加工精度の粗さ順では、「機械研磨>アルゴンイオン試料作製装置>FIB」という関係にあります。

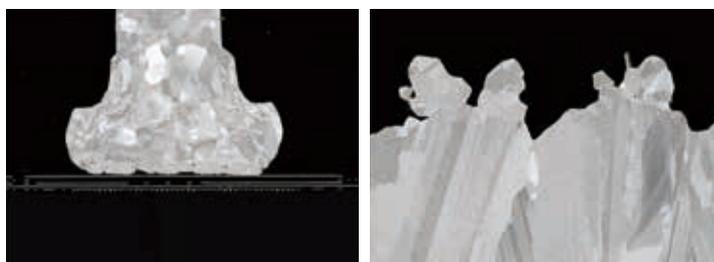
また本装置のほうがFIBよりも処理領域が格段に大きく、化学的な変化がないので硬い素材ともろい素材が混在している試料や金属、有機物などあらゆる試料に対応できます。そのため、ものづくり現場における研磨加工、断面観察用試料の作製では極めて実用性が高いとも言えます(オプションでは、試料回転ホルダで試料を回転させながら、低い入射角度でアルゴンイオンビームを照射して仕上げ研磨を行う「イオンミリング」も可能です)。

試料の作製時間は、試料によって異なりますが、早いもので2時間、長いもので8時間ほどかかります。

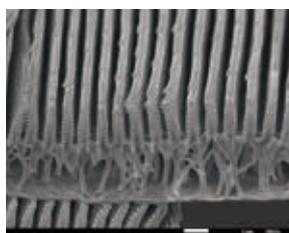
用途は実に多岐にわたります。硬い材料では磁性材料の結晶方位の解析、もろい素材ではオイルシェール、柔らかい素材



■金ワイヤーボンディング形状拡大写真



■モルフォ蝶の羽断面写真



鱗粉構造を壊さず
に断面加工する

〈この装置の特徴〉

- 柔らかい材料、硬い材料、もろい材料も損傷の少ない断面試料を作製
- 出来映えモニターで、加工状態をリアルタイムに確認
- 機械研磨表面の仕上げエッチングも

では金線ボンディング、発泡剤、鉛フリーはんだ、ウレタンゴム、紙等々の断面試料が作製できます。また、印刷物のトナーの付着状況の確認や、モルフォ蝶やインドクジャクなど構成発色している生物の羽の構造解明などにも使われています。

金属、自動車、電気・電子、製紙などの業界や、大学、自治体研究機関で利用されています。

■基本仕様

(日本電子株式会社 SM-09020)

イオン加速電圧：2～6KV

イオンビーム径：500 μ m(半値幅)

ミリングスピード：100 μ m/h

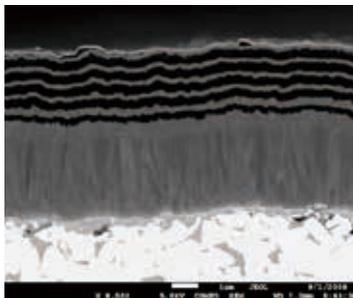
最大搭載試料サイズ：幅11mm×長さ10mm×厚さ2mm

解説は…

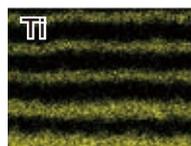
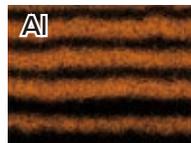


中島 雄平さん
日本電子株式会社
SM 事業ユニット
SM アプリ部

■試料：超鋼合金上の多層膜断面



分析倍率 x50,000



津島 将司

大阪大学

大学院工学研究科

機械工学専攻 教授

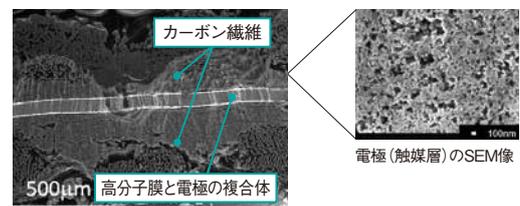
ありのままの断面をつくる 燃料電池電極の断面作製

固体高分子形燃料電池やリチウムイオン二次電池などの電池デバイスにおいては、炭素金属、酸化物などから構成される多孔質電極と電解質としての高分子材料が積層した構造になっています。今後、これらの電池デバイスの一層の性能向上のためには、電極と電解質中での反応物、生成物、イオン、電子の輸送をより効率的に実現することが求められます。そのためには、電池デバイス内のナノ・マイクロ構造を「ありのままに」観察し、より良い構造を探求していく必要があります。

NANOBIICに導入されているクロスセクションポリリッシャ™(CP)は、このような要求に最適な断面試料作製装置です。エネルギー密度の低いAr⁺イオンビームにより試料を切削することで、ダメージを抑えた断面作製が可能となります。金属、セラミックス、プラスチック、高分子膜など、切削する試料を選ばないため、電池デバイスのようにさまざまな材料が含まれている試料についても、下図のように「ありのままの断面」を得ることができます。断面試料作製には集束イオンビーム(FIB)を用いる方法が広く知られていますが、電池材料のように高分子を含むような試料の場合には、熱ダメージを抑えるための追加装置が必要になります。加えて、CPでは幅1mm程度の広い領域を一度に切削できることも魅力の一つです。直径50nm程度の炭素粒子が積層して形成される多孔質電極も、CPにより断面を作製することで、下図のように「ありのまま」の姿を観察することが可能となります。

電池デバイスに限らず、特に「やわらかい材料」と「硬い材料」が複合した試料について、簡便にきれいな断面を作製することができるため、さまざまな用途で活躍できる、使い勝手のよい装置だと思えます。

CPにより作製された固体高分子形燃料電池の断面



原子間力顕微鏡

試料の3次元形状だけでなく物性も測定可能

2nmの針先で、試料を叩いて計測

原子間力顕微鏡 (AFM=Atomic Force Microscope) は、小さな針 (プローブ=カンチレバー) を使い、試料表面の形状や粗さを3次元で計測できる顕微鏡です。プローブを観察対象となる試料に近づけて走査させることで、試料の凹凸に応じてプローブの姿勢や加わる力が変化します。この変動値を検出することで物質の形状だけでなく、物性についても捉えることが可能です。「走査型プローブ顕微鏡」とも呼ばれています。

具体的には本装置は、先端径が2nm～10nm程度のシリコン製プローブが、共振周波数で加振されて試料の表面を軽く叩きながらスキャンしていきます。これは、軽く叩くことから、「タッピングAFMモード」と呼ばれています。

本装置の大きな特徴の一つが、タッピングに際しての加圧が、従来装置よりも5分の1から20分の1に低減されていることです(「ピーク・フォース・タッピングモード」と言います)。タッピングのための振動周波数は2kHzで、試料に一定の力がかかるとプローブを自動的に戻す制御機能を備えています。この機能により、柔らかい材料、例えばゴムなどの計測も可能になりました。

もう1つの大きな特徴が、「スキャンアシスト」と呼ばれる測定条件の自動設定機能です。試料に対するタッピングの加圧、

制御に必要なゲインなどを装置が自動的に最適化していきます。このため、初心者の方でも高品質なイメージ画像を得られます。

さらに、大気中だけでなく液中での測定も可能で、例えば培養液中にある細胞をなぞり、形状や性質を探ることができます。

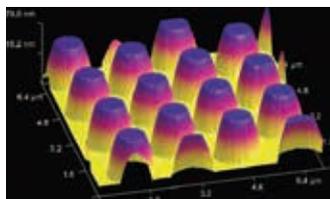
試料を置くステージは、直径210mm(8インチ)の大型のもので、大型ステージの装置で原子レベルの分解能を世界で初めて実現しています。一度に計測できる範囲は、XY方向がそれぞれ90 μ m、Z方向が10 μ mで、XYZの同時計測が可能です。X-Y軸へのドリフト(計測のズレ)は、0.2nm/分なので、イメージに歪みがなく、ミクロンオーダーからナノレベルで捉えられます。

部位別の機械特性(弾性率や吸着力)の差も計測

原子間力顕微鏡は、実際にプローブが試料表面に接触しているが故に、試料の3次元像を捉えることができるだけでなく、試料表面の物性も計測できます。それはつまり、試料の機械特性のイメージ化(マッピング)ができることを意味しており、部位別の弾性力の差や吸着力の差をイメージのコントラストの差として捉えることが可能です。

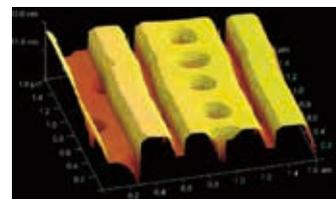
活用例では、シリコンウェハの表面や金属表面の研磨後の粗さを見たり、トレンチ(溝)形状の幅を測ったり樹脂表面の

■PSS測定例(LED分野)

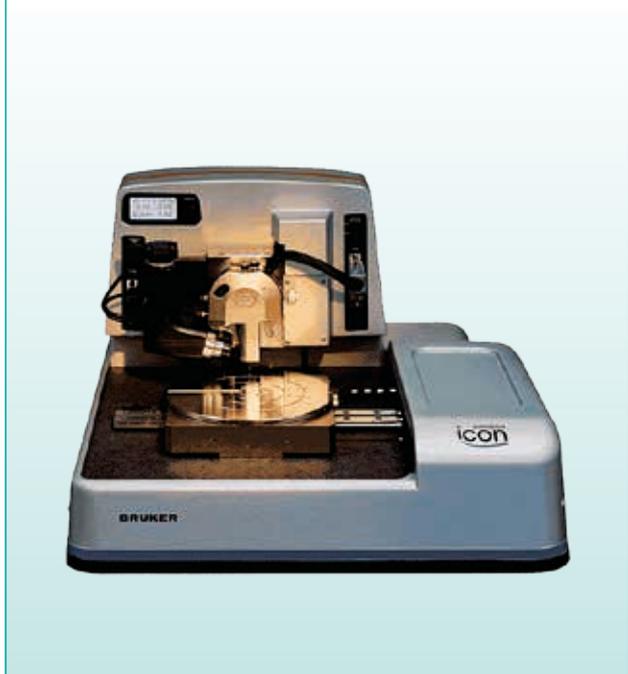


高輝度LED用PSS (Patterned Sapphire Substrate)の詳細な構造観測

■半導体のトレンチ測定例(半導体分野)



アスペクト比の大きいトレンチをFIBプローブを使用して観測





茂木 克雄

国立研究開発法人産業技術総合研究所
創薬分子プロファイリング研究センター
機能プロテオミクスチーム
主任研究員

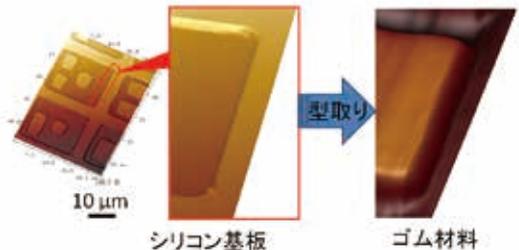
液体中におけるゴムやプラスチックの歪み観測

4大学コンソーシアムに設置されている原子間力顕微鏡(AFM)、「Dimension Icon」には、液中サンプルを観察するための観察ユニットが用意されています。また、観察画像の解析に使う専用ソフトウェアを利用者に配布していますので、装置利用後にじっくり時間をかけて取得データを解析することができます。

我々のグループでは、液体に浸されたゴムやプラスチックの歪みを観察するのに「Dimension Icon」を利用しています。我々の研究には、ゴムやプラスチックといった材料の中に髪の毛よりも細い管を作り込んで、そこにアルコールなどの液体を流し込む工程があります。ただ、使う材料の種類や流し込む液体によっては、管がゆがんでしまい流れが滞ることがあります。このゆがみ具合が事前に把握できると、実験内容に適した材料をスムーズに選ぶことができます。

下の図は実際に「Dimension Icon」を用いて、エタノールに浸した微小構造を観察した例です。図の左側はシリコン基板上の構造で、右側はその構造を型取ったゴムの形状を表したものです。2つの形状を比較することで、型取り精度や膨潤によるゆがみの影響を確認することができます。形状のゆがみが小さい場合には、同じスケールで作った管も目詰まりを起こさないと判断できます。

今後は、Dimension Iconを用いると大気圧で液中の物質形状を観察できるので、微細な管の中で培養した細胞や微生物の形状を観察していこうと考えています。



〈この装置の特徴〉

- 表面形状、3次元形状、物性の計測が可能
- 大型ステージで原子 / 分子レベルのイメージを取得
- 自動測定機能で柔らかな試料の計測が可能

様子を観察したりしています。磁気力、電気力、表面電位の計測ができるので、磁気テープやハードディスクの磁化状態の観測にも使われています。

また複数の素材を混ぜ合わせた時に、表面の混ざり具合を分子レベルで機械特性の差として確認できます。さらに液中で利用できますから、細胞の形を、生きたままの状態で計測できます。

こうしたことから電気・電子分野に限らず、ポリマー系、ライフサイエンス(細胞、DNA観測)、化粧品(髪の毛への残留物観測)、食品などの幅広い分野でも活用されています。

■基本仕様

(ブルカー・エイックスエス株式会社
原子間力顕微鏡Dimension Icon)

スキャナー：XYZクローズドループ
スキャナー

スキャンサイズ：X-Y90 μm、Z10 μm

Z方向ノイズレベル：<0.035nm

試料サイズ：直径210mm、厚さ15mm

ドリフトレート：0.2nm / 分 (X-Y)

自動ステージ：駆動範囲180mm×150mm

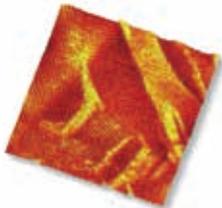
解説は…



阿部 美和さん

ブルカー・エイックスエス
株式会社
ナノ表面計測事業部
セールスグループ課長

■高分解能測定例



HOPG上のアルカン(C₃₆H₇₄)の
ラメラ構造(4.5nm間隔)の観測

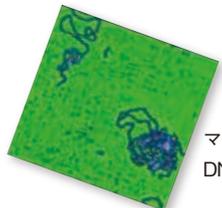
■ポリマーブラシ測定例(材料分野)



ポリマーブラシの
観測。従来では困難
であったブラシ
構造が明瞭に観測
可能。

サンプルご提供：
S. Sheiko, University
of North Carolina,
Chapel Hill.

■DNA測定例(ライフサイエンス分野)



マイカ上の
DNAの観測

NANOBIIC ユーザーの声を聞く

株式会社協同インターナショナル

「マイクロナノ化学反応分析チップ」の

NANOBIICの装置を活用して新世代技術の開発に挑むユーザーの声を聞いた。

NANOBIICの装置をフル活用

(株)協同インターナショナル(本社・川崎市宮前区、池田謙伸社長)は、電子MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems=微小電気機械素子)やバイオ、食品関連の事業を展開しているが、電子MEMSのイノベーションセンターをNANOBIICに隣接するかわさき新産業創造センター KBICに置いている。

現在、イノベーションセンターが取り組んでいるのが、慶應義塾大学理工学部の田口良広准教授との共同研究「超高速・高感度光学式マイクロナノ化学反応分析チップの開発」である。

チップは光学式センサーを用いて血液や分泌物を分析し、健康状態の変化を測定するというもの。具体的には、血液や分泌物に化学反応状態や分子構造によって固有の光拡散の特質(係数)があることに注目。ナノサイズで加工された“鏡”を使ってセンシングし、反応を分析する。将来的には、チップをデバイス化して腕時計のように体に装着し人の健康状態をオンサイトでモニタリングしたり、医薬品開発のスピードアップに役立てる計画だ。

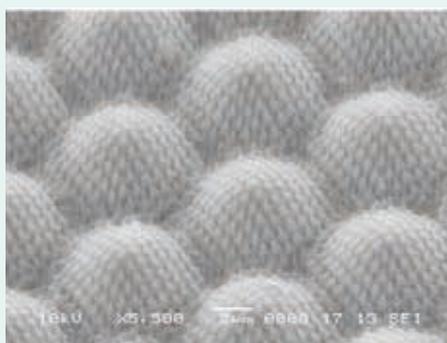
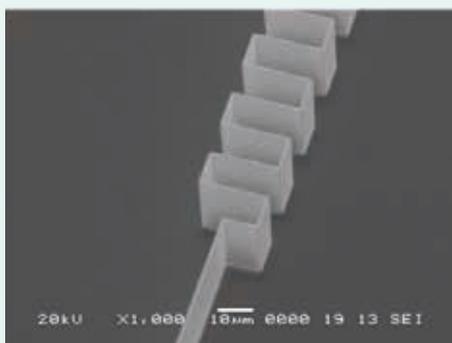
現在は、「採取されたサンプルを分析する機構の確立に取り組んでいます。共同研究では、理論の確立と基本設計を田口研究室が担い、具体的なセンサーの開発を協同インターナ

ショナルが担っています」(三田正弘・協同インターナショナル電子部技術次長)。

センサー開発を支援しているのが、NANOBIICに用意されている各種の装置だ。センサーは、幅が5 μ mの流路を備えている。ここを血液や分泌物が流れることが測定の大前提になる。そのためにも、5 μ mの流路を正確かつ滑らかに形成しなければならない。さらに鏡構造部分も数nmオーダーの滑らかさが求められる。「どちらも、表面がざらざらしては目詰まりを起こしたり、光拡散の違いを正確に捉えることができなくなる」(三田次長)ためだ。

そのために協同インターナショナルではまず、ウェハに樹脂膜を形成する「スピンコート」や「コートディベロッパ」を、フォトリソグラフのために「マスクアライナ」や「レーザー直接描画装置」を、エッチングのために「シリコン深掘りエッチング装置」を、さらに評価・計測のために「原子間力顕微鏡」や各種のレーザー顕微鏡などをフル活用している。

「これだけ最新鋭で多様な装置を揃え、産学官協力の上で運用・利用されている施設はまれであり、それをリーズナブルな料金で使用できるメリットは計り知れない」と三田次長は言う。その上で、「装置には固有のクセがあり、実験計画をきちんと組み立てた上で、装置への条件設定を変えながら結果を得ていくことが重要だ」と語る。



開発に挑んでいます」



三田 正弘さん

株式会社協同インターナショナル
電子部
技術次長

Q NANOBICを活用しようと考えた理由は？

三田 我々のような従業員80人規模の中小企業では、これだけの装置を自前で持つことは不可能だし、持ったとしても費用対効果は悪い。中小企業におけるR&Dの効率化とリスク削減には、NANOBICのような施設の利用が極めて合理的なのです。

Q 4大学との交流の場などもできているのですか？

三田 NANOBICでは、4大学の研究者と企業の人間が少人数で意見交換を行う「ナノ茶論」という交流会ができ、今は定例化しています。大学の先生と私たち企業の技術者が、「ぶっちゃけ」で意見を交換しています。私たちは技術シーズを知り、先生たちは「そんな加工もできるのですか」などと驚いている。先生たちと意見を交換できる場があるだけでも嬉しいが、さらにナノ茶論に参加した企業同士のコラボレーションも生まれています。

どんなに優れた技術を持っていても、特定の分野にとどまっていたら限界があります。異業種、異分野、学問と交流することで、思わぬ応用展開が開けてくる。そこにこそNANOBICの装置を活用する最終的なメリットがあるのではないかと考えています。

原理と基礎理論が分かれば
ものづくりは変わり、
大学や異業種との学際交流が、
技術に応用をもたらします

Q 大学の持つ基礎研究の知見は、中小企業にも有用なものでしょうか？

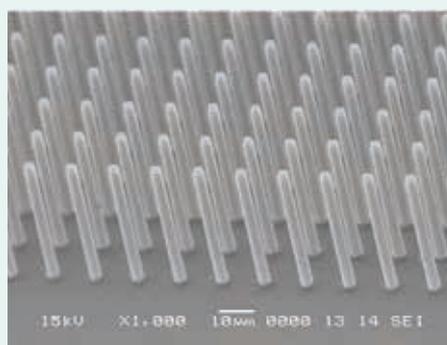
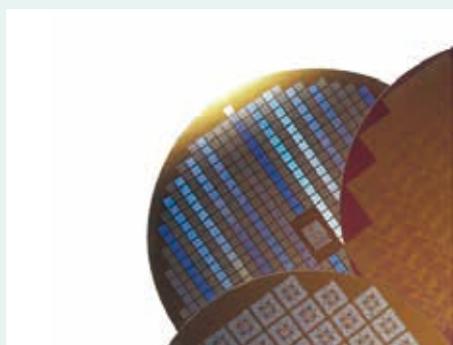
三田 その通りだと思います。2000年前後の大企業を中心とした基礎研究ブームが消え去って以後、基礎研究を支えているのは大学であり、中小企業ではできない基礎研究の英知を大学から学ぶ場が必要です。なぜなのかが分かれば、それはものづくりに必ず展開できます。

Q NANOBICの機器や4大学の知見をどのように活用されていますか？

三田 私が、NANOBICの利用や4大学コンソーシアムとの関係で最も実感し、訴えたいのが「匠の技」「職人芸」を超える道筋が、ここにはあるということです。

匠の技、職人芸と言っても、原理や基本的な理論を理解していないと本当の技術にはならない。「なぜ上手くいったのか」「なぜ仕上がりが安定しないのか」といった課題は、匠の技だけでは解消できない。

やはり原理や基本的な理論を学び、それが分かればテストの仕方が変わります。それを学べるのが、NANOBICと4大学コンソーシアムを活用する大きなメリットです。



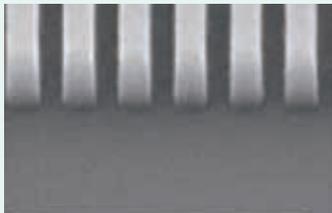
NANOBIICの研究機器でできること

～加工・評価の一例～

加工

ECR成膜・エッチング

■白金Ptの成膜例

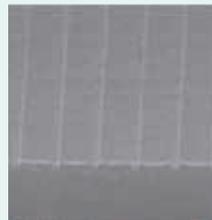


■二酸化シリコン (SiO₂)のエッチング例



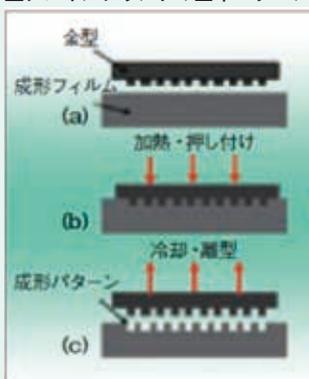
超高精度電子ビーム描画装置

■超細線描画例 溝幅8nm

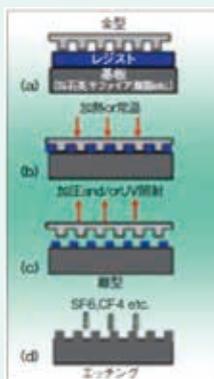


ナノインプリント

■ナノインプリントの基本パターン



フィルムナノインプリント
(熱可塑性樹脂の表面加工)



レジストナノインプリント
(熱可塑性樹脂orUV硬化樹脂)

■成型事例(熱式)



ナノパターン(φ230nmピラー)特有の干渉縞

■φ230nmホールパターン



■3次元の細胞培養の様子

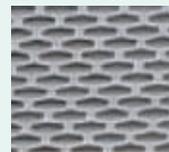


ハニカムパターン



培養中の細胞

■メタル配線パターン



評価

雰囲気制御型熱電子放出型走査電子顕微鏡

■はんだの溶融過程観察



■NaClの加湿観察



■チーズのかび



■藻類



レーザー顕微鏡

■パターン自動幅測定例



■マイクロレンズ
自動幅測定例



■白黒超深度画像(×2000)



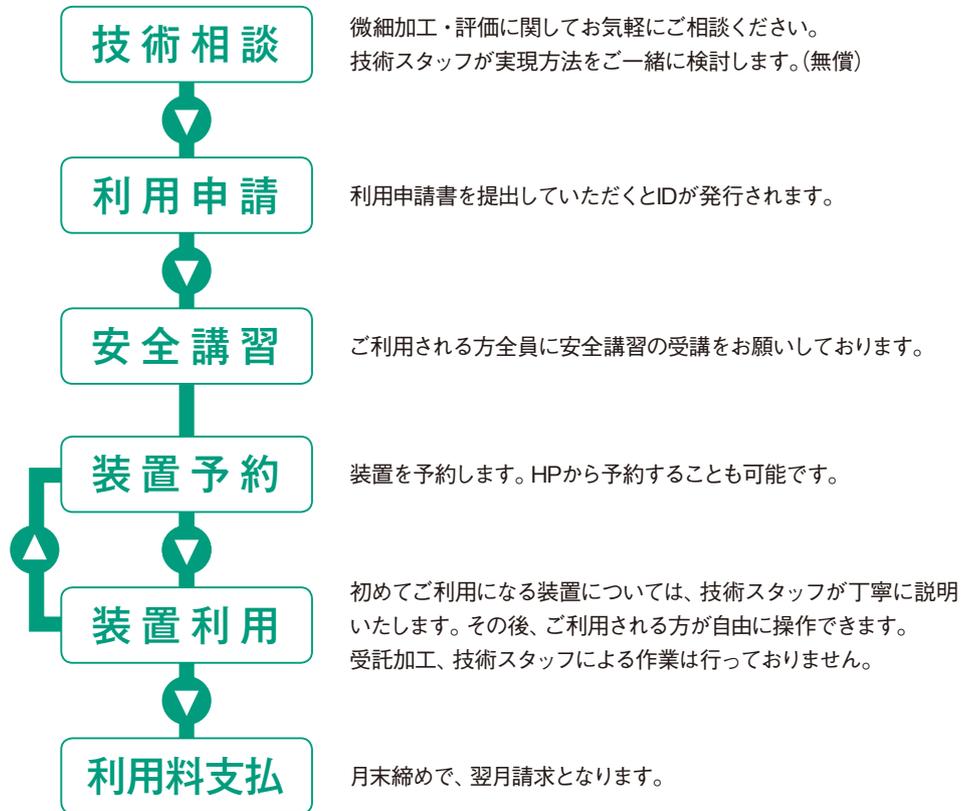
■自動車用塗料粉末
カラー超深度画像(×2000)



装置利用の手順

〈技術支援〉

4大学ナノ・マイクロファブ리케이션コンソーシアムでは、ナノ・マイクロ産学官共同施設 NANOBIC内に最先端の微細加工装置および評価装置を有し、大学や企業からの技術相談～試作・評価まで一貫した支援を提供します。



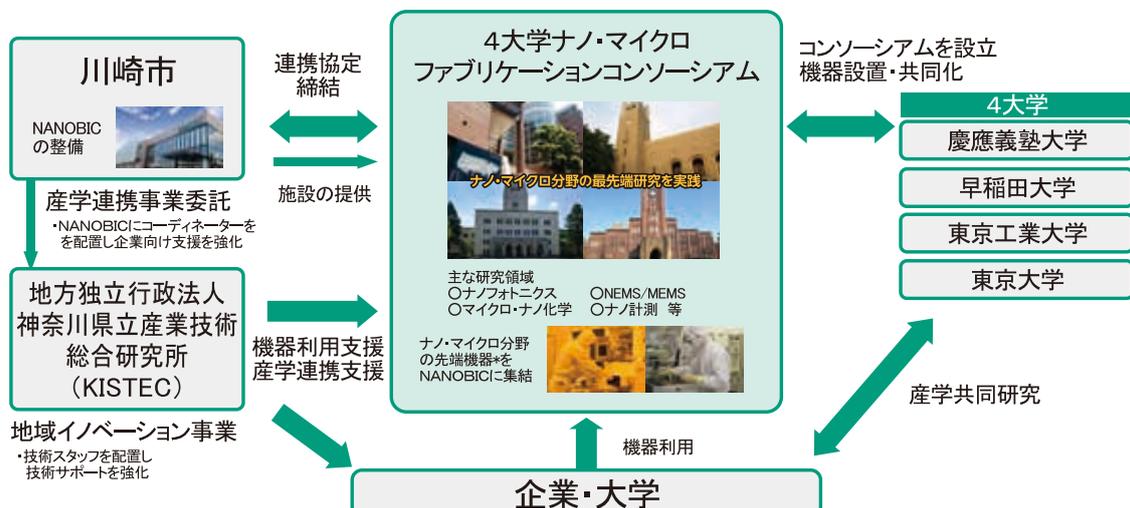
機器ラインナップ、問合せ、申込等、詳細はWebをご覧ください。
<http://open-labo.skr.jp/>

NANOBICオープンラボ

検索

NANOBIC オープンラボの連携スキーム

4大学保有の機器設備を活用した機器利用・産学連携への支援体制



NANOBIIC 共用装置一覧

NANOBIICでは、最先端の微細加工装置や計測・評価装置等を利用することができます。

※各装置は、貸し出し状況やメンテナンス状況等により、利用できない場合がございますので、機器利用を希望される場合は、事前にお問い合わせください。



成膜 スパッタ成膜装置
4元マグネトロンサイドスパッタ装置
CFS-4EP-LL
製造：芝浦メカトロニクス(株)

【主な用途・特徴】
●コンパクトで操作が簡単、豊富なオプションを揃えたロードロック式タイプのスパッタリング装置
●広範囲に分布が良いスパッタ源を搭載(±5%以内(SiO₂でφ170mm以内))



成膜 スパッタ成膜装置
ECR イオンビームスパッタ成膜装置
EIS-230W
製造：(株)エリオニクス

【主な用途・特徴】
●イオン銃：スパッタ用2本、アシスト用1本、計3本搭載
●多層膜の形成や異種ターゲット構成原子の混ざり合った混合膜の形成が可能
●薄膜形成時にイオンビームミキシングや薄膜形成原子の表面での攪拌、結晶化の促進等が可能



成膜 成膜装置
バリレン蒸着装置 PDS-2010
製造：日本バリレン合同会社

【主な用途・特徴】
●バリレンコーティング



成膜 クラスタ型コータディベロッパ
クラスタ型コータディベロッパ
GAMMA
製造：ズース・マイクロテック(株)

【主な用途・特徴】
●フォトリジストのスピコート、スプレーコート、現像、ベーク、ペーパープライムを全自動でプロセス可能
●高い均一性、再現性
●25～50枚までのウエハーを連続処理可能



成膜 スピンコータ
スピンコータ MS-A100
製造：ミカサ(株)

【主な用途・特徴】
●レジスト塗布



成膜 スピンコータ
スピンコータ MS-A200
製造：ミカサ(株)

【主な用途・特徴】
●レジスト塗布



成膜 洗浄装置
スピンドライヤー SPD-160RN
製造：(株)コクサン

【主な用途・特徴】
●基板の洗浄・乾燥
●純水での槽内洗浄、N₂による仕上げ乾燥が可能



成膜 アッシャー
プラズマ装置 PR510
製造：ヤマト科学(株)

【主な用途・特徴】
●フォトリジストの除去、部品の洗浄、界面活性処理
●コンパクトタイプのバレル型プラズマ処理装置



バターニング レーザー描画装置
レーザー直接描画装置 DWL66fs
製造：Heidelberg Instruments Mikrotechnik

【主な用途・特徴】
●フォトマスク作製、直描



バターニング 電子線描画装置
超高精度電子ビーム描画装置
ELS-7800K
製造：(株)エリオニクス

【主な用途・特徴】
●高精度・高安定。加速電圧80kVにより、10nm以下超ファインパターンを実現



パターニング 露光装置

手動両面マスクアライナ SUSS MA6BSA
製造：ズース・マイクロテック(株)

【主な用途・特徴】

- 両面紫外線露光
- 回折効果を補正するよう最適化された光学系によりサブミクロンのパターンが転写・形成可能
- ソフトコンタクト、ハードコンタクト、バキュームコンタクトなどが可能
- 表面二重露光アライメント精度、表面・裏面アライメント精度とともに、サブミクロンの精度を有する



パターニング ナノインプリント装置

ナノインプリント装置 X-300

製造：SCIVAX (株)

【主な用途・特徴】

- 微細構造成形



エッチング ドライエッチング装置

高密度プラズマドライエッチング装置 NLD-570
製造：(株)アルバック

【主な用途・特徴】

- 石英・ガラス・金属酸化物などのドライエッチング
- 磁気中性線プラズマ(NLD)による低圧・低電子温度・高密度プラズマを搭載したドライエッチング装置
- パイレックスやホウケイ酸ガラスなど不純物の多いガラス加工も形状や表面平滑性に優れたエッチングが可能



エッチング ドライエッチング装置

誘導結合プラズマドライエッチング装置 PlasmaPro100ICP-180

製造：オックスフォード・インストゥルメンツ(株)

【主な用途・特徴】

- InP, InGaAs, InAlAs 等の III-V 化合物のドライエッチング



エッチング 集束イオンビーム加工装置

集束イオンビーム加工観察装置 FB-2200

製造：(株)日立ハイテクノロジーズ

【主な用途・特徴】

- TEM 試料作製、大面積加工
- 低加速電圧による低ダメージ試料作製
- マイクロサンプリングによるピンポイント薄膜試料作製



エッチング シリコン深掘り装置

シリコン深掘り (DRIE) 装置 MUC-21 ASE-SRE

製造：住友精密工業(株)

【主な用途・特徴】

- ボッシュプロセスを用いた高アスペクト比シリコンエッチング



評価・計測 環境制御型電子顕微鏡

雰囲気制御型熱電子放出型走査電子顕微鏡 Quanta250/EDS

製造：日本 FEI (株)

【主な用途・特徴】

- 水分量コントロール (ウェット観察)、高温加熱観察、高真空 SEM 観察



評価・計測 原子間力顕微鏡

原子間力顕微鏡 Dimension Icon

製造：ブルカー・エイエックスエス(株)

【主な用途・特徴】

- 大型試料用走査型プローブ顕微鏡
- 高分解能と低ドリフトを実現
- ScanAsyst 機能



評価・計測 電子顕微鏡

3D リアルサーフェスビュー顕微鏡 VE-8800

製造：(株)キーエンス

【主な用途・特徴】

- SEM 観察
- 低加速電圧観察対応で、非導電性試料でも非蒸着で観察可能
- 2 枚の視差画像から高精度に 3D 像を構築



評価・計測 断面試料作製装置

断面試料作製装置 SM-09020

製造：日本電子(株)

【主な用途・特徴】

- 表面に対して垂直な断面作製
- 銅、アルミ、金、はんだ、高分子、セラミックス、ガラスなどの試料加工
- EDS、WDS 分析用の試料、多層膜の形状観察や膜厚測定、粒子の方位解析 (EBSD) などのための試料作製



評価・計測 超解像度顕微鏡

超解像度顕微鏡 STED-CW

製造：ライカマイクロシステムズ(株)

【主な用途・特徴】

- 蛍光観察
- 生細胞の超解像イメージングへの応用が可能



評価・計測 比表面積 / 細孔分布装置

自動比表面積 / 細孔分布装置 アサップ 2020

製造：(株)島津製作所

【主な用途・特徴】

- ナノ~サブナノ領域の細孔分布測定



評価・計測 表面形状計測装置

超高解像度表面形状計測装置
WYKO NT9100A

製造：ブルカー・エイエックスエス(株)

【主な用途・特徴】

- 3次元表面形状計測
- サンプル表面の形状や粗さを非接触で、三次元的に測定することが可能
- 測定面内において、輝度差が大きいものや、低反射率材料、透明材料でも問題なく計測が可能



評価・計測 表面張力接触角計

表面張力接触角計
Drop Master DM500

製造：協和界面科学(株)

【主な用途・特徴】

- 接触角、表面張力測定



評価・計測 ガス透過率測定装置

ガス透過率測定装置
GTR-21 AXKU

製造：GTR テック(株)

【主な用途・特徴】

- 単一ガス、混合ガスの透過率の測定



評価・計測 膜厚測定装置

光干渉式膜厚測定装置 VM-1200

製造：大日本スクリーン製造(株)

【主な用途・特徴】

- 膜厚計測
- 最大4層膜までの積層膜同時測定が可能
- 屈折率測定が可能（最大4層膜サンプルの1層）



評価・計測 レーザー顕微鏡

レーザー顕微鏡 VK-8510

製造：(株)キーエンス

【主な用途・特徴】

- 形状計測



評価・計測 高速度カメラ

高速度カメラ FASTCAM SA2

製造：(株)フォトン

【主な用途・特徴】

- 高速度撮影



評価・計測 フェムト秒ストリークカメラ

フェムト秒ストリークカメラ
FESCA-200

製造：浜松ホトニクス(株)

【主な用途・特徴】

- ナノ～マイクロスケール凝縮系・分子系におけるエネルギー緩和ダイナミクスや構造変化ダイナミクスの観察



評価・計測 マイクロ ELISA

マイクロ ELISA IMT-501

製造：マイクロ化学技研(株)

【主な用途・特徴】

- 自動免疫分析
- サンドイッチ法、競合法など各種イムノアッセイに対応可能
- 超微量検体 1mL ~、低ランニングコスト、迅速測定 8分~、超高感度測定：検出感度 3×10^{-8} Abs.



評価・計測 熱レンズ顕微鏡

熱レンズ顕微鏡

製造：マイクロ化学技研(株)

【主な用途・特徴】

- 生体試料の高感度測定

【その他の装置】

- 紫外可視分光光度計
- バイオ実験装置 等



産学公民の連携による創造的研究開発拠点

「新川崎・創造のもり」とは



「新川崎・創造のもり」は、産業界、大学、行政及び市民の連携により、21世紀を支える新しい科学・技術や産業を創造する研究開発拠点の形成と、次代を担う子どもたちが科学・技術への夢を育む場づくりをめざしています。

第1期事業

K²(ケイスクエア)タウンキャンパス (H12.7開設)

- 4棟の研究棟に約15の研究プロジェクトが入居し、未来社会を拓く先端的な研究を展開(約400名の登録研究者が活動)
- 市民や地域企業等を対象としたオープンキャンパスやセミナーを開催し、先端的研究の成果を社会に還元

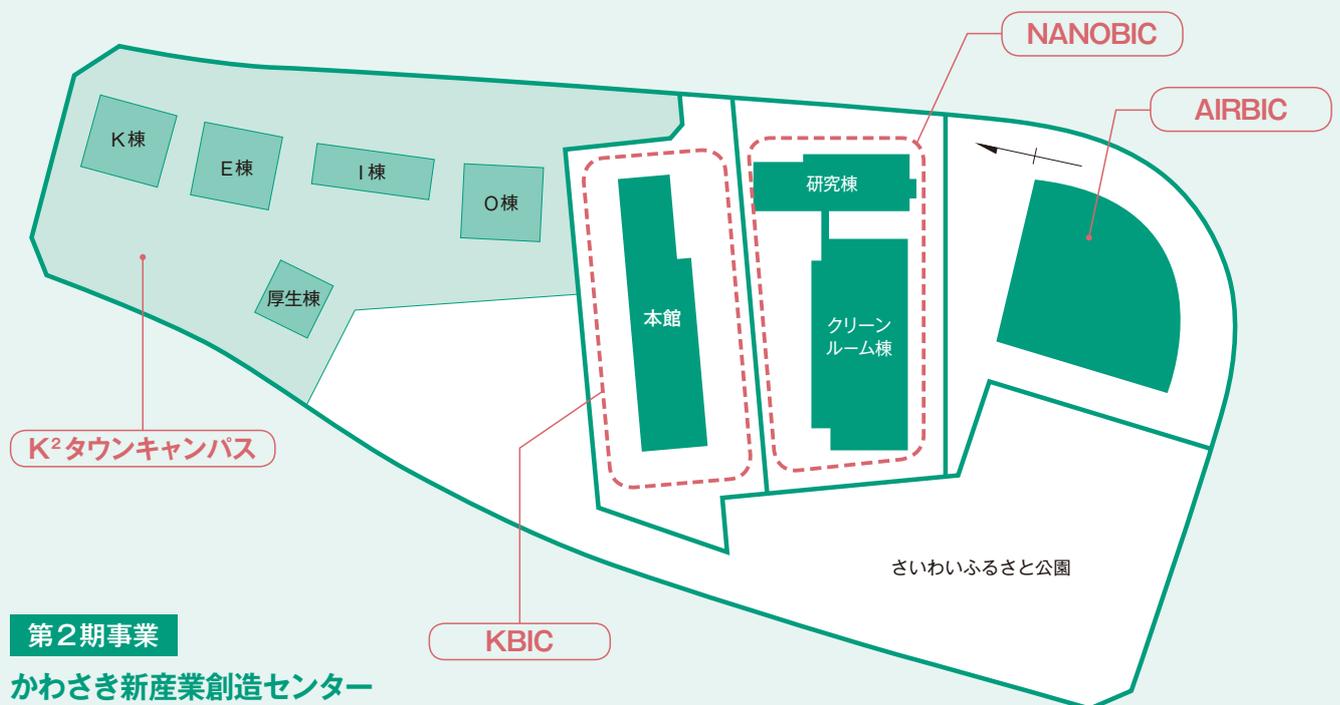


第3期事業

かわさき新産業 創造センター新館 NANOBIIC (H24.4開設)



- 【研究棟】新事業研究室約50m²×20室
一時利用研究室約25m²×2室ほか
- 【クリーンルーム棟】クリーンルーム約750m²
(クラス100:約175m²、クラス10000:約575m²)
新事業研究室合計約780m²



第2期事業

かわさき新産業創造センター KBIC (H15.1開設)

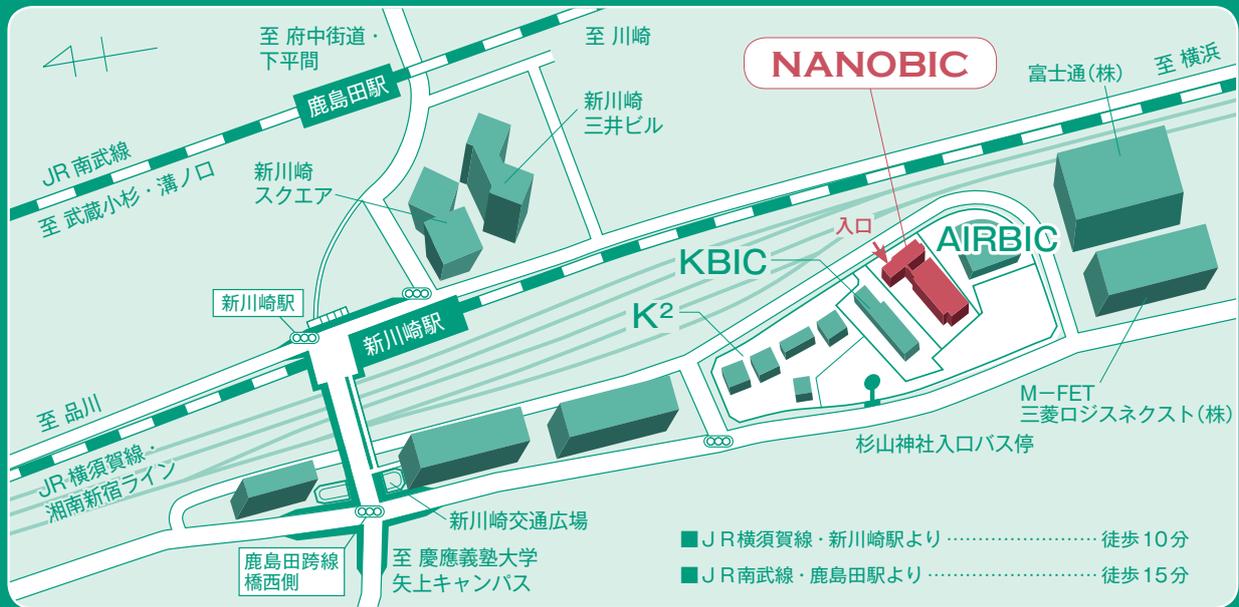
- ものづくり企業・研究開発型企業を支援するインキュベーション施設
- 市内ものづくり企業の基盤技術高度化を支援



さいわい ふるさと公園 (H22.7開設)



新川崎・創造のもり NANOBIC アクセスのご案内



〒212-0032 川崎市幸区新川崎7-7 TEL:044-587-1105 FAX:044-587-1106
〔指定管理者:かわさき新産業創造センター共同事業体〕

お問い合わせ先
川崎市経済労働局イノベーション推進室
〒210-0007 川崎市川崎区駅前本町11-2 川崎フロンティアビル10階
TEL:044-200-2407 FAX:044-200-3920
2ssozo@city.kawasaki.jp