

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

# NANOBIIC

## 装置紹介

- 03 NANOBIIC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  
NANOBIIC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：クラスター型コータ・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 エッチング：誘導結合プラズマドライエッチング装置
- 26 #10 評価・計測：超低真空走査電子顕微鏡
- 28 #11 評価・計測：自動比表面積 / 細孔分布装置
- 30 複数機器の活用事例
- 32 NANOBIICユーザーの声を聞く
- 34 NANOBIICの研究機器でできること・装置利用の手順
- 36 共用装置一覧
- 39 「新川崎・創造のもり」とは

# NANOBIICと4大学 ナノ・マイクロファブ리케이션 コンソーシアム

新川崎・創造のもりに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리케이션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・評価まで一貫して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。

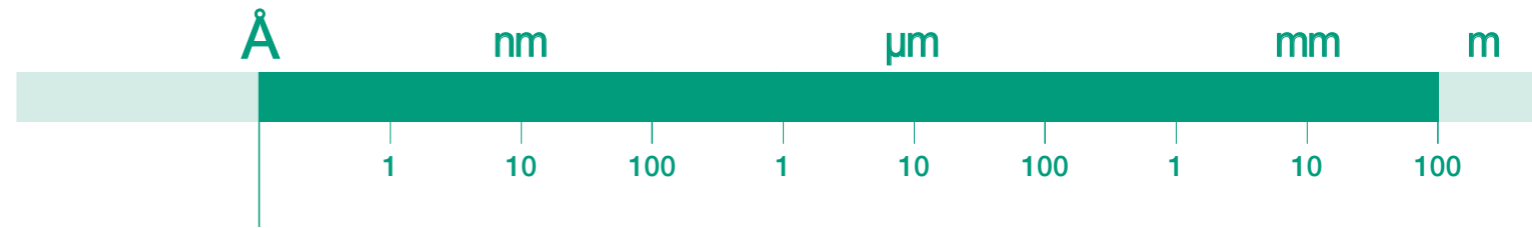
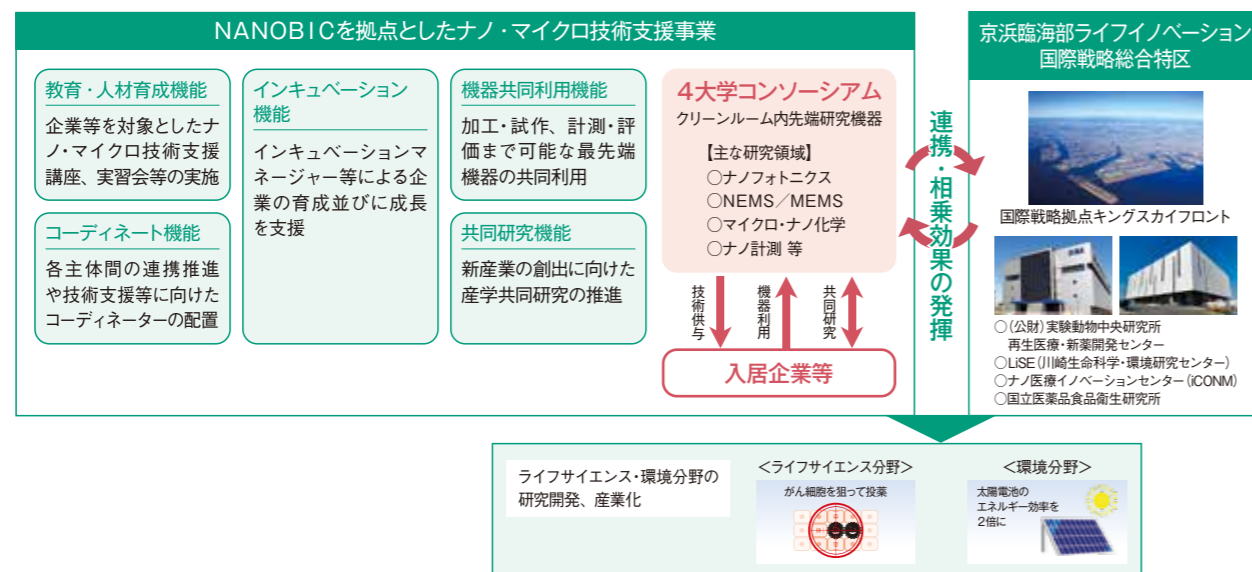
そして、「NANOBIC」でのナノ・マイクロ技術を核とした産

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
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

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」

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、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。

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

NANOBIC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。NANOBIC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NANOBIC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セミナー、少人数制のサイエンスカフェ、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。

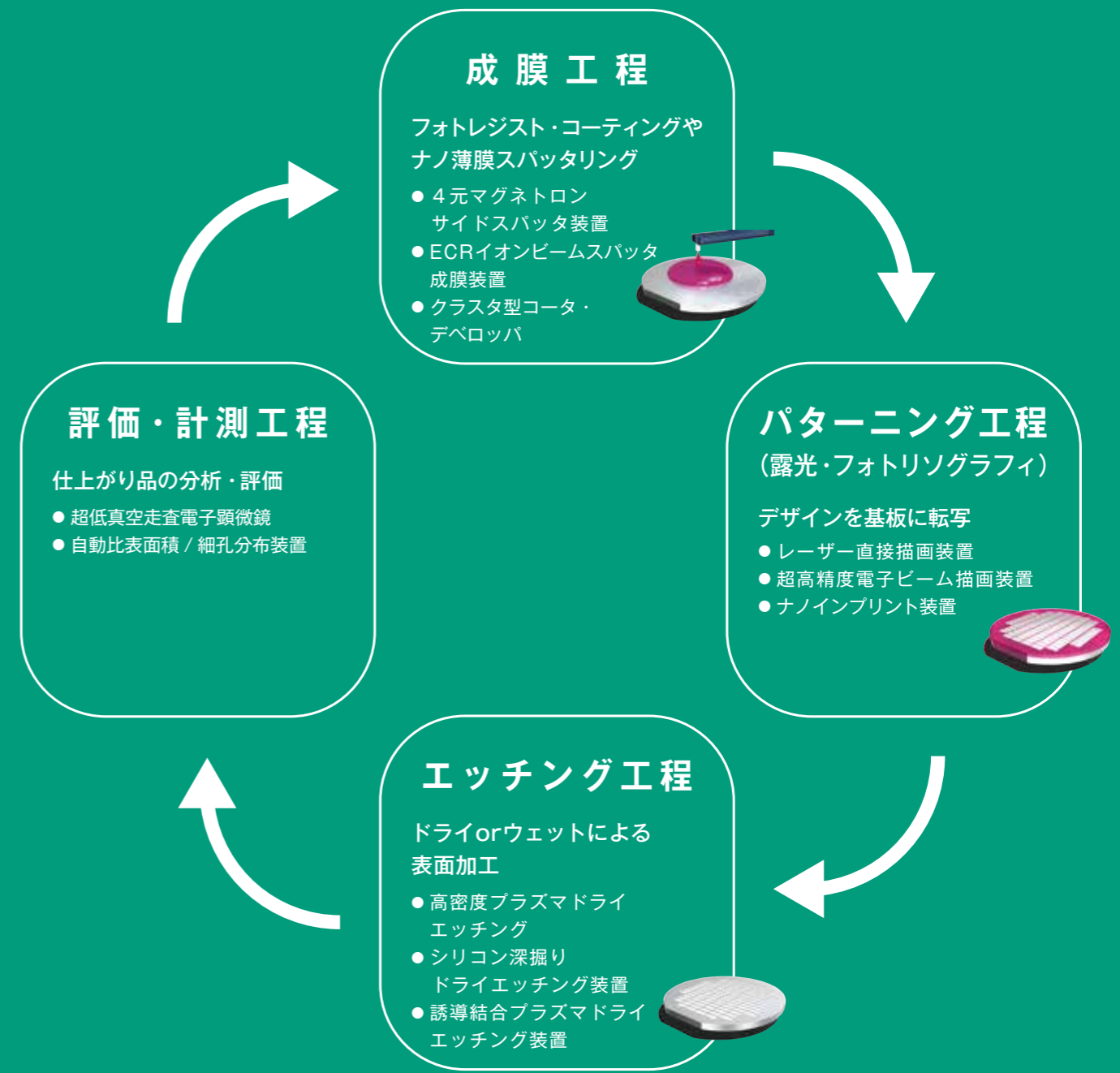


ナノ・マイクロ技術を学ぶ各種の研修講座も開催されている

## 技術開発に新たな視点を

# NANOBIIC 装置紹介

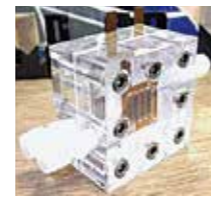
ナノ・マイクロサイズのデバイスは、成膜→パターニング(露光・フォトリソグラフィ)→エッチング→評価・計測という流れで作製されます。NANOBIICには、それぞれの作業に必要な約35台以上の各種装置が導入されています。同じ作業分野でも装置によって機能が異なり、NANOBIICでは、さまざまな技術開発に対応できる研究機器を整備しています。



### 〈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



フロー電池のプロトタイプ

#### 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

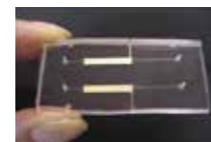
- ・ナノ表面修飾による生体試料分析の高効率、高性能化
- ・無線通信の集積化、高機能化によるリアルタイム診断



絆創膏チップ

#### 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



医療診断チップ

#### 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

## 4元マグネトロンサイドスパッタ装置

### 幅広い分野で応用できるスパッタリング装置

スパッタリングとは、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、樹脂基板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MEMS（センサ、マイクロマシン等）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。

実際にスパッタリングを用いた例として、自動車のヘッドアップ車載ディスプレイやスマートフォンのディスプレイは、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する用途に活用されているほか、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、自動車ではエンブレムにスパッタリングを用いて特殊な膜を付け、ミリ波レーダーをエンブレムから照射する事で前方の障害物を認識する事が可能です。

マグネトロンスパッタリングの基本原理は、真空中において、不活性で安定的なアルゴンガスを導入し、交流もしくは直流電

源を用いてアルゴンガスをイオン化し、ターゲットと呼ぶ材料を原子レベルで基板に付着させる事により薄膜を形成する事ができます。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。

NANOBIKの4元マグネトロンサイドスパッタ装置は、サイドスパッタ方式でロードロック室を有していることからスパッタ室の真空を破らずにスパッタリングを行えるため、再現性に優れ高密度かつ高密着、均一（SiO<sub>2</sub> 170mmφ以内±5%以内）な膜付けが実現できます。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について、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、SiO<sub>2</sub>、ZrO、TiO<sub>2</sub>等）などの単層成膜や多層膜の形成が可能です。

### 〈こんな人におすすめ!!〉

- 広範囲に均一な膜が欲しい・・・
- コンタミが少なく成膜したい・・・
- 真空を破ることなく複数種の成膜・・・

広範囲に分布が良いスパッタ源を搭載し（SiO<sub>2</sub>では170mmφ以内の均一性が±5%以内）、また、300℃加熱や逆スパッタリングなどに対応可能です。タッチパネルで操作・成膜条件管理が容易に行え、装置コンセプトで、条件、レシピなどの成膜データを蓄積できますので、このデータを応用し、様々な材料開発が行えるようになっています。

今後は、バイオチップやカーボンナノチューブ等の研究開発にも、スパッタリングを応用することが期待されています。例えば、バイオチップではAu電極を成膜することにより、血液やDNAの分析などに用いられ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。

スパッタリングは今後もナノ・マイクロ領域における研究開発・試作から量産化への展開が期待されています。

#### ■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、SiO<sub>2</sub>、NiCr、  
TiO<sub>2</sub>、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

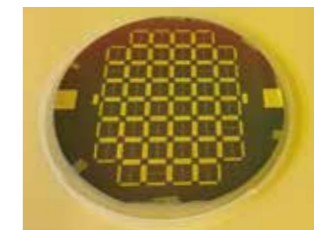


田口 良広  
慶應義塾大学  
理工学部  
システムデザイン工学科 教授

### 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レジスト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、歯型静電アクチュエータと比較して1/10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。NANOBIK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30μm）



# 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

### 電子サイクロトロン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、電子サイクロトロン共鳴 (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ン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。

プラズマの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、極めて薄い良質の膜を安定的に作れる点にあり、成膜スピードは毎分数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。

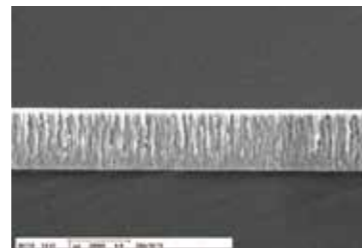
イオン銃室内を高真空 ( $5.0 \times 10^{-3} \sim 3.0 \times 10^{-4}$  Pa) にしているため、ゴミとなる粒子が少なく、不純物の混入が少ない良質な膜が生成できます。また本装置は、2本のイオン銃の他にもう1本、膜品質を向上させるための専用のイオン銃を備えているのも大きな特徴で、成膜表面のクリーニングや、反応性イオンビームを用いることで膜の改質を行うことができます。

### CNxなどの新素材開発にも活用可能

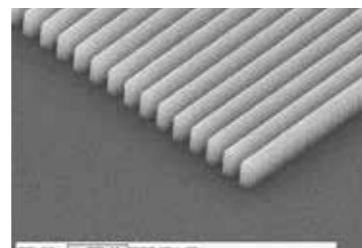
成膜技術は、ベアリングやシャフトなどの摩擦係数を下げたり、センサーや電極、金型の最終段階の保護膜などとして広く活用されている技術です。

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ウエハ上にCrを約1μm成膜)



■二酸化シリコンSiO<sub>2</sub>のエッチング例



### 〈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

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CNx (カーボンナノトライド) 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)

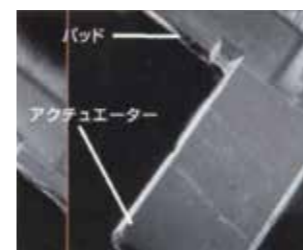
イオン銃：電子サイクロトロン共鳴ECR型  
 加速電圧：100V ~ 3000V連続可変  
 成膜速度：4nm/min / 成膜寸法：φ50mm / 膜厚均一度：φ40mm±5%以内 / イオン化ガス：Ar, Xe, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>など / イオン流モニター：モニター用検出端子付 / ガス流量制御：マスフロコントローラ / イオン中和機構：ニュートライザ機構付 / イオン流密度：Ar1.5mA / cm<sup>2</sup>以上 (2kV加速時) / ターゲット制御方式：スケジューラファイル用PC / 試料ステージ：基板サイズφ50mm、加熱温度350℃、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

### 解説は…

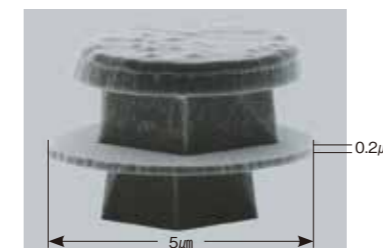


杉山 嘉也さん  
株式会社エリオニクス  
応用技術課

### ■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



茂木 克雄  
東京電機大学  
工学部  
電子システム工学科 教授

### 創薬/医療に用いるマイクロ流体デバイスを実現する均質な薄膜電極

我々は、創薬や医療に用いるマイクロ流体デバイスの開発に取り組んでいます。マイクロ流体デバイスとは、髪の毛ほどの細いマイクロ流路を内蔵した装置で、そのマイクロ流路に液体 (マイクロ流体) を流し込んでマイクロ流体特有の作用を利用した液中成分の分析などに使用します。皆さんは「借りぐらしのアリエッティ」という映画をご存じですか？小人である主人公の母親がおもちゃのコップにお茶を注ぎ入れるシーンがあるのですが、何とそのお茶はべっとりとしています。この「べっとり」というのがマイクロ流体の大きな特徴で、マイクロ流路の中では水も粘った流体として扱えます。一方で、マイクロ流路には電気との相性が良いという特徴もあります。通常、電極を介して液体内で起こる電気化学の主な反応は、電極近傍の微小空間で急速に進みます。そのため、マイクロ流路に電極を組み込んで小規模な反応系を構築すれば、その反応による作用を効果的に利用できます。

我々は、NANOBIKのECRイオンビームスパッタ成膜装置を利用してマイクロ流路の底面のガラスに電極用薄膜を成膜しています。電極材料の金はガラスとの密着性が悪く、液中ですぐに剥がれてしまうため、ガラスと金の間に接着層となるクロムを挟み込みます。このクロムと金の二層薄膜をマイクロ流体デバイスの電極として用いる場合、マイクロ流体からのせん断応力や酸化還元反応の影響を直に受けるため、用途や流路の形状などに応じて膜厚を調整する必要があります。例えば、クロム層は厚すぎると側面からの浸食が進むため、接着層としての役割を損なわない程度の薄さが求められます。また、金も厚ければよいというものではありません。熱や、残留応力、流体のせん断応力によって接着層から剥がれてしまいます。これに対してNANOBIKの当該装置は、高真空容器内で高い付着強度を備えた多種材料の積層膜の成膜が行える上、材料や成膜条件に応じて細かく制御パラメータを調整できるため、我々の用途に適した良質な電極用薄膜の成膜が可能です。



ガラスに電極を組み込む



流路底面の封止

## 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)の転写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、スピコートとスプレーコート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 $\mu$ mに±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±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℃から250℃の範囲において1℃単位で設定可能で、設定温度に対する均一性は±1%程度です。またウエハと熱源の間に隙間を

#### 〈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、角形基板のフリッジ発生領域も減少
- 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、バ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インチウエハ(6, 8インチ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)  
【スピコート塗布部】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/バ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

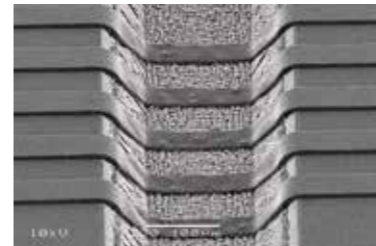
■スプレーコータの塗布作業



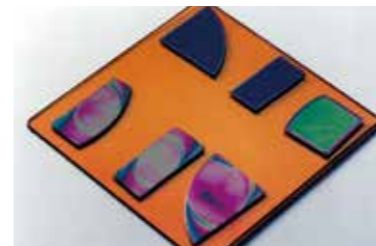
■デベロッパモジュール部分



■段差構造のスプレーコーティングデータ



■角基板のフリッジ発生状況



### 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。

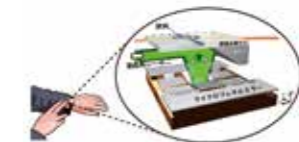
クラスタ型コータ・デベロッパはフォトリソグラフィの中でもフォトレジストと呼ばれる有機薄膜をウエハに高精度に成膜可能な装置です。プロトタイプ開発や小規模な研究所では従来この工程はマニュアルで行われてきたため、再現性や均一性などに問題がありました。クラスタ型コータ・デベロッパを用いることで再現性や均一性が格段に向上し、定量的な評価を要するマイクロセンサーなどの開発が飛躍的に進みました。

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 田口教授)



マイクロ拡散センサーのイメージ図

## レーザー直接描画装置

### 汎用性と柔軟性に優れた最小1μm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90μm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、レイヤーの拡大縮小、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1μm描画の4mmレンズ、大きいデザインの描画には最小10μm描画の40mmレンズの2種類のレンズを使い分け、29~416mm/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。

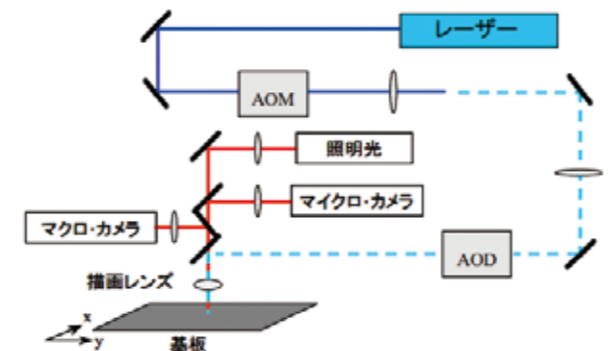
#### 3つの描画方式とNANOBIICでの応用

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



#### 〈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

工ができていないかを評価し、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イオンレーザー 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: 29~416mm/分  
 3D(グレイスケール)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

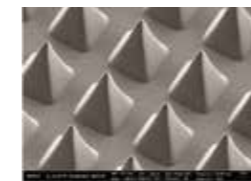
ハイデルベルグ・インストルメンツ株式会社 技術部

#### ■応用例①



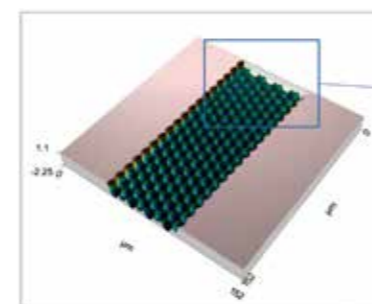
バイナリー描画によるマイクロ流路の加工例。レジスト厚100μm、最小描画サイズ1μm。使用レジスト材料: SU-8

#### ■応用例②



グレイスケール描画によるピラミッドアレイの加工例。底辺25μm、高さ50μm、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3.19μm、ピクセルサイズ200nm。使用レジスト材料: AZ4562



山本 貴富喜  
 東京工業大学  
 工学院  
 機械系 准教授

#### AI駆動ACナノポア法による微生物センサの開発

我々のグループでは、新開発したAI駆動ACナノポア法という測定法に基づくフェノタイプセンサの開発、および医療・ヘルスケア、サニタリー・ハイジーンビジネスへの実装を展開しています。センサの主要部はマイクロ流路やナノ流路で構成されており、このような流路構造の物理的な特徴を合目的的に利用してセンサが機能します。例えばウイルスや細菌などの微生物検出の場合、ウイルスの計測ではナノ流路、バクテリアの計測はマイクロ流路と、測定対象に応じて様々な大きさの流路形状を高精度に作製する必要があります。また、生産性を考えるとある程度の大面積で一度に無数のデバイスを作製する必要も求められます。

そこで我々は、最大8インチ角サイズに加工精度1μmで感光性樹脂のパターニングを実現するレーザー直接描画装置を利用して、5インチ角の石英ガラス基板にフォトマスクを作製しています。その作製したフォトマスク上に直接フォトレジスト構造を作製する背面露光プロセスを用いてマイクロ流路の鋳型を作製の上、マイクロモルディングにより鋳型のパターンをシリコンゴムに転写してセンサのマイクロ流路構造を実現しています。一例として、3μm×3μmの断面積を持つマイクロ流路をセンシング部に用いたセンサを図に示します。

例えば、本デバイスを用いてAI駆動ACナノポア法によるフェノタイプセンシングをすると、1つのセンサで20種類近くのバクテリアを測定時間が数秒程度で85%以上の精度で検出・同定することが可能になります。ウイルスやバクテリアセンシングによる感染症・パンデミック対応、細胞外小胞を検出することによるがんや様々な疾病の早期発見など、同定可能なバイオナノ粒子の種類は日々増大しており、必要なデザインを本装置で実現しています。その他、用途に応じて様々なマイクロ・ナノ流体デバイスを作製しており、ほぼその全てにレーザー描画装置を活用しています。





# 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、超精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±0.3nm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2.4mm×2.4mm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インチ四方のマスキングの試料が装着でき、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

超精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の超精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。

そもそも超精細な回路形成は、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、光が混ざり合わないで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。

### 〈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、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)

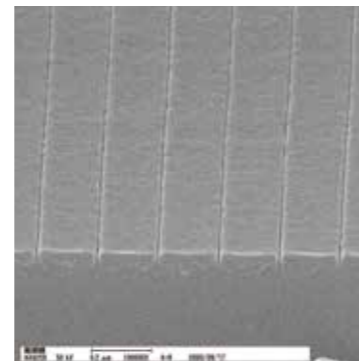
- (1) 電子光学系本体  
電子銃：熱電解放射型電子銃(ZrO / W)  
最小電子ビーム系：φ2nm以下 / 最小描画線幅：8nm以下 / 最大加速電圧：80kV
- (2) 試料室  
移動範囲：X、Y方向=155mm、Z方向=5mm / 最大試料サイズ：φ150mmまたは150mm / 最小試料サイズ：5mm角 / フィールド間つなぎ合わせ精度：40nm / 重ね合わせ描画精度：40nm

### 解説は…

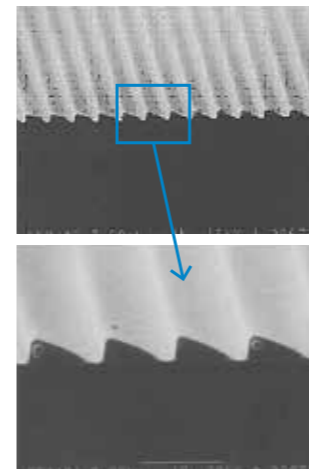


渡邊 雅彦さん  
株式会社エリオニクス  
応用技術課リーダー

### ■超細線描画の例。溝幅は8nm

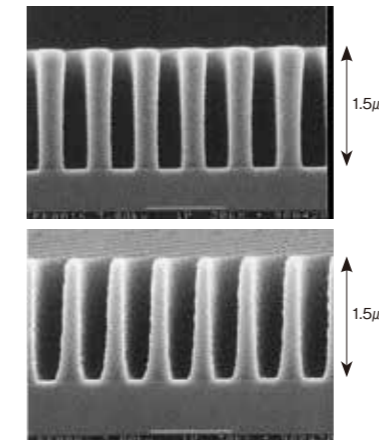


### ■応用例①



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

### ■応用例②



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。0.3μm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)

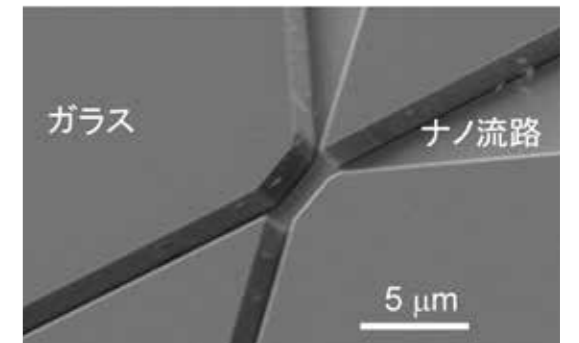


嘉副 裕  
慶應義塾大学  
理工学部  
システムデザイン工学科 准教授

### 超微細構造の作製に必須の ナノパターン描画

電子ビーム描画装置は、微細加工の基本プロセスである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工程のうち、2)のパターニングを担当する装置です。本装置は、電子ビームを利用することで、最小寸法で10nm以下のパターニングを可能としています。このようなハイスベ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あり、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だからこそ初めて装置本来の性能を発揮させることができます。

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。そのため、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、図に示すようなナノ流路等の超微細構造をその場でシームレスに作製することができます。ここで示したナノ流路は、体積が僅かfL(10-15 L)と超微小であるため、検体中に含まれるたった1個の目的分子であっても確実に検出する性能をもった超高性能医療診断デバイスへの応用が期待されています。



ガラス基板上に作製したナノ流路の電子顕微鏡写真

# 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。「レンズレイアウト」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

## 〈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)

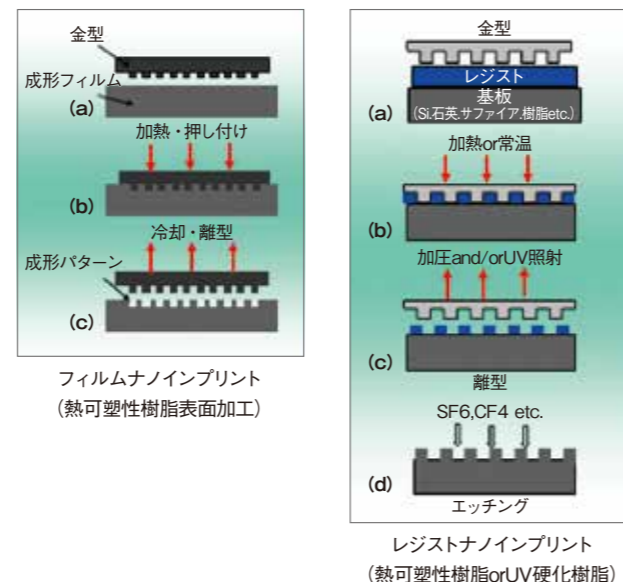
形式: 熱式&UV式ナノインプリント装置  
 転写方式: 一括転写 / 被転写材料: UV硬化樹脂、熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂 / 最高使用温度: 650℃ / 最大荷重: 50KN / 最大ワークサイズ: φ150mm / UV機能: 波長365nm、有効照射面積100mmφ、最大加圧力2MPa、最大操作温度100℃

### 解説は...

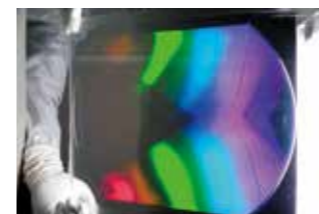


奥田 徳路さん  
SCIVAX 株式会社  
取締役副社長

### ■ナノインプリントの基本パターン

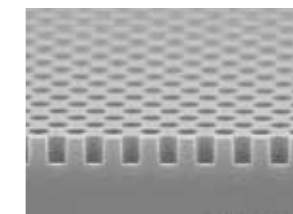


### ■成型事例(熱式)

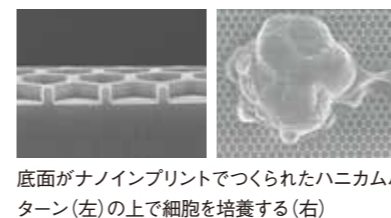


A4サイズ金型によるフィルムへの成型(φ230nmピラー)で、ナノパターン特有の干渉色が確認できる

### ■φ230nmのホールパターン

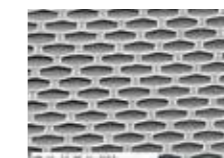


### ■3次元の細胞培養の様子



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



## 体内状態をモニタリングする on-body型マイクロデバイスの開発

ナノインプリントは、ナノメートルオーダーのパターンを有するモールドを様々な材料に押し付けることで、対象物に微細なパターンを転写する加工技術です。微細なパターンを形成する他の方法としてはフォトリソグラフィや電子線リソグラフィなどがありますが、これらの方法とは異なり化学薬品を使用しないドライプロセスであることが特徴です。また、大面積な転写に対応したナノインプリント装置も開発されているので、NANOBIICの装置で条件ができれば、比較的スムーズに量産のステージに進むことができます。ここではナノインプリントを利用した研究例の1つとして、体内状態をモニタリングするon-body型マイクロデバイスに関する研究を紹介いたします。

この研究では、体液を継続的に分析し、健康状態や精神状態を反映して濃度が変化するバイオマーカーと呼ばれる生体分子を測定するセンサーを開発しています。従来のバイオマーカーの測定は、血液や唾液、尿などの検体を体外に採取してin vitroで分析する方法が主でしたが、このセンサーは体表面に留置されて継続測定できることが大きな特徴です。これを用いることで、これまでの分析では調べることができなかった極めて短い時間でおきるバイオマーカーの濃度変化を追うことができるようになり、被験者が感じている喜びや悲しみなどの感情を客観的な数値として知ることができるようになります。これは、あらゆる工業製品をパーソナライズする上での基盤的な技術となるでしょう。

しかし、このようなデバイスを作製するのは非常に高度な加工技術が必要となります。なぜなら、人体に無害な素材で、被験者が痛みを感じず、かつ使用中に折れないようなニードル形状(裾野の太さと、先端に向かって鋭くなる斜面の角度)と、体液までアクセスできるだけの長さ(数百マイクロ)を作る必要があるからです。我々はニードルの最適な太さ・鋭さ・長さを調べるために、ナノインプリント装置を利用しました。フォトリソグラフィで数百マイクロの高さの構造物を作製するためには、せいぜい数十マイクロの層を積み重ねて作るしかなく、技術的に非常に困難ですし、長時間を要します。我々はナノインプリント装置を使って様々な太さ・鋭さ・長さのニードルを多数作製し、最適な形状を調べることに成功しています。

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、様々な応用が期待されます。



笠間 敏博  
東京大学  
大学院工学系研究科  
バイオエンジニアリング専攻  
特任准教授

# 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 $\mu\text{m}$ 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 $\mu\text{m}$ 以下、最大で100 $\mu\text{m}$ 以上。加工深さもシャロウエッチングから最深100 $\mu\text{m}$ 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

## 〈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 $\mu\text{m}$ 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)

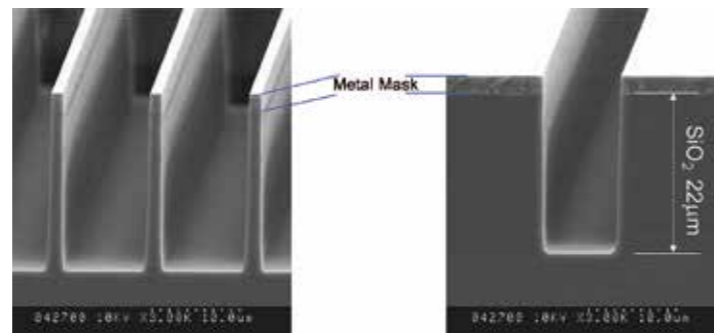
プラズマ源：磁気中性線プラズマ／基板サイズ： $\phi 50 \sim 200\text{mm}$ ／基板ステージ：ESC or メカチャック／アンテナ及びパイアス：RF高周波電源搭載／排気系：エッチング室TMP+DRP／制御系：PLC+TFTタッチパネル／ガス導入系：最大8系統／アプリケーション：石英、パイレックス、低膨張ガラス、水晶、誘電体等／装置コンセプト：開発試作

### 解説は…



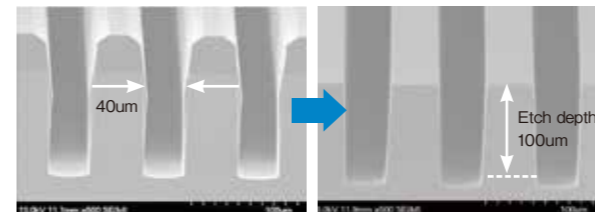
森川 泰宏さん  
(工学博士)  
株式会社アルバック  
半導体電子技術研究所  
研究開発部

### ■深掘りの1例

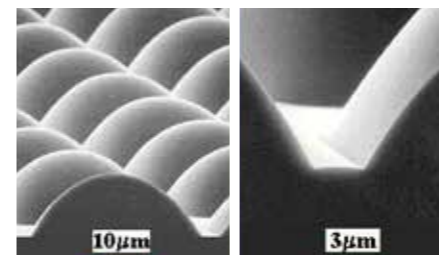


極薄幅の深掘りができている

### ■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 $\mu\text{m}$ (左)、底部の溝幅は3 $\mu\text{m}$ (右)



塚原 剛彦  
東京工業大学  
科学技術創成研究院  
ゼロカーボンエネルギー研究所  
教授

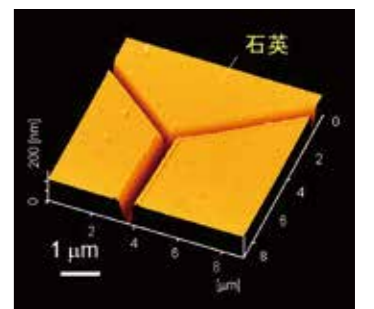
## 拡張ナノ空間の特性を利用した 次世代分離・分析デバイス研究

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、石英基板上に塗布したレジスト上に、Y字形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 $\text{CHF}_3$ と $\text{C}_3\text{F}_8$ 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

# 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、ウェ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ェットエッチングは、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 $\mu\text{m}$ のエッチングですが、 $10\mu\text{m}$ 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、 $\text{C}_4\text{F}_8$ プラズマによる保護膜形成で側壁のエッチングを抑え、 $\text{SF}_6$ 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。

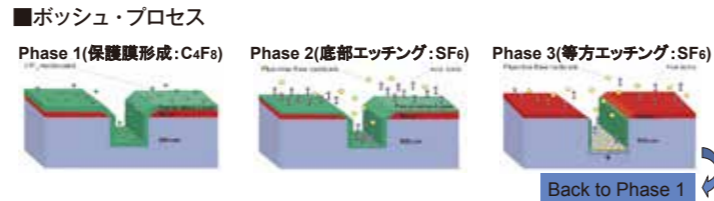
### 高精度と高速処理を両立させる各種機能

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。

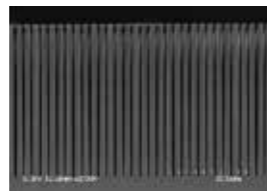
さらに、この装置では、高マスク選択比(厚膜レジストやメタルマスクによらず、現存のマスク厚で高アスペクト比を実現する)のエッチングが可能で、エッチングステップと保護膜形成ステップとの切り替えを高速かつ自動で制御することにより、加工精度を維持しながら深掘りすることができます\*。また、ボッシュ・プロセス特有の加工側壁における凹凸形状(スキヤロップ形状)をプロセス条件により低減できます。さらに、SOIウエハを用いたMEMSセンサ等の製造において、酸化膜上にあるシリコンの貫通エッチング時に課題となるノッチング(底部に+イオンが滞留することでできる異常形状)発生も防止できるSOIノッチフリー機能を有して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

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

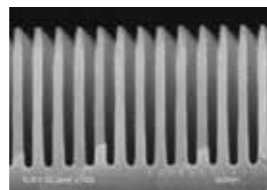
\*シリコン深掘り加工の一例: エッチングレート $\sim 6\mu\text{m}/\text{分}$ 、対レジスト選択比 $50 \sim 180:1$ 、アスペクト比 $\sim 50$ 。



### ■高アスペクト比のディープエッチング例(1 $\mu\text{m}$ 幅、35 $\mu\text{m}$ 深さ)



### ■微細パターンエッチング例(50nm幅、0.7 $\mu\text{m}$ 深さ)



### 〈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

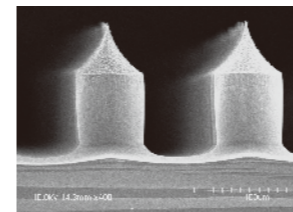
(住友精密工業株式会社 MUC-21 ASE装置)  
 プラズマ源: 誘導結合プラズマ(ICP) / 基板サイズ:  $\phi 100\text{mm}$  / 基板ステージ: メカチャック / 基板の搬送: 全自動 / アンテナ及びバイアス: RF高周波電源搭載 / 排気系: エッチング室TMP+DP、ロードロック室SP / 制御系: PLC+PC制御 / ガス導入系: 最大8系統(内、 $\text{SF}_6$ 、 $\text{C}_4\text{F}_8$ 、 $\text{O}_2$ 、Arの4系統使用) / アプリケーション: シリコン深掘り加工によるMEMSデバイス等(装置コンセプト: 製品)

### 解説は...

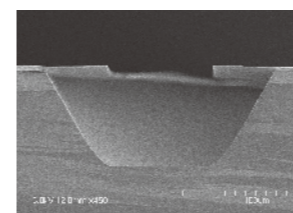


金尾 寛人さん  
 SPPテクノロジーズ株式会社  
 マーケティング部  
 マーケティングコミュニケーショングループ長

### ■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テーパエッチング



### 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。



図1 シリコン深掘装置による微細な溝構造

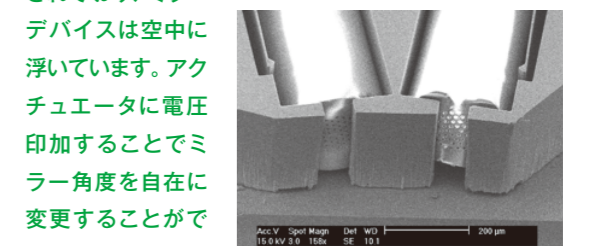


図2 光ファイバーはバネ構造により溝の中に固定されています

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。

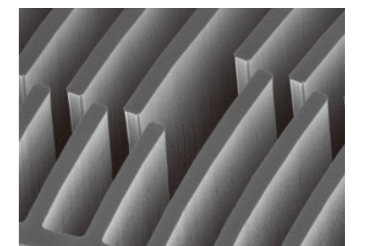


図3 櫛歯型静電アクチュエータ

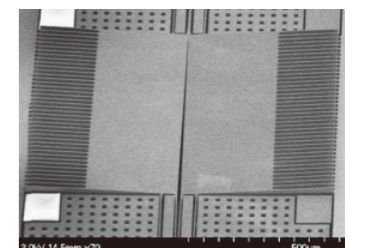


図4 マイクロフレネルミラー

(慶應義塾大学 田口教授)

# 誘導結合プラズマドライエッチング装置

## 高速、クリーン、垂直プロファイル、低ダメージ薄膜加工

### 理想的なエッチング技術および豊富なライブラリ

ドライエッチングは、現在、SiCパワーデバイスやGaN/AlGaNのRFデバイス、InPやInGaAsなどの化合物族半導体材料を含むオプトエレクトロニクスや電子デバイス製造において、精密な加工を行うために幅広く利用されています。一般的にエッチングプロセスにおいて期待されていることとして、高速エッチングレートやクリーンケミストリー、垂直プロファイル、低ダメージが挙げられます。ICP (誘導結合プラズマ) エッチングは、高イオン密度による高速エッチングが実現する一方、イオン密度とイオンエネルギーの個別制御により低ダメージエッチングが実現し、前述の課題を解決する理想的な技術です。本装置では、当社が開発してきた様々な化合物半導体エッチングプロセスの知見が活用されています。当社の30年以上にわたる研究開発経験から得られた、累積 6,000 以上の豊富なレシピ (エッチング、ALDなど) を含むプロセスライブラリを利用することができます。

### 真のICPを実現するRF、ロードロック、電極温度制御

本装置 Plasmalab 100 ICP180 および搭載される ICP エッチング装置の概略図を、それぞれ図1および図2に示します。8系統からガス (Cl<sub>2</sub>、BCl<sub>3</sub>、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、Ar、SF<sub>6</sub>、

O<sub>2</sub>) をチャンバー内に導入し、ICP ソース (最大3,000W) と基板電極 (最大500W) の両側に RF (13.56 MHz) が印加され、プラズマが生成されます。ICPチューブ周囲の静電シールドにより、ICPパワーが確実に純粋な誘導結合 (「真のICP」) となるため、チューブ材料のスパッタリングがなく、デバイスへの不必要な高エネルギーイオンによるダメージを最小限に抑えることができます。基板上的イオンエネルギーは、下部電極に発生する DC バイアスの測定によりモニターされ、主に下部電極に供給される RF パワーにより制御されます。ICP パワーをオフに設定し、RIE (リアクティブイオンエッチング) モードにより低エッチングレートのプロセスを行うことも可能です。

チャンバー真空度の安定性とエッチング結果の再現性を確保するため、ウェハはロードロックを用いてチャンバーにセットされます。エッチングするウェハは、温度制御された下部電極に機械的にクランプされます。チャックとウェハ間の熱伝導性を高くするため、ウェハの裏面にヘリウムガスを供給します。必要に応じて、サイズの小さな基板の場合には、熱伝導性接着剤を使用して4インチシリコンウェハに貼り付けることもあります。

このPlasmalab 100 ICPは、熱電素子とチラーにより、20℃ ~ +400℃の範囲において±1℃の精度で基板温度を制御することが可能です。また、オプションとして液体窒素を用いるこ

### 〈この装置の特徴〉

- ICP と RIE (下部電極) を個別に出力制御することによりイオンエネルギーとイオン密度を制御
- 広範な電極温度制御
- 豊富なプロセスライブラリ

とにより-150℃から+400℃まで、その使用範囲を広げることができます。基板温度は、エッチング反応種の揮発性を制御することによるプロセスの化学成分、エッチング速度、選択性、プロファイルのみならず、基板表面の粗さにも、大きな影響を与えます。本装置は、1 mTorrから100 mTorrの圧力範囲内で動作させ、チャンバー内圧力を正確に制御することが可能です。

また、最新機種種の PlasmaPro 100 Cobra ICP では、300 mmの大型ICPソースが採用されたことにより、多くの分野で使用されている 200 mm のウェハサイズに対応した均一性の高いプロセスを行うことができます。さらに最大5プロセスモジュールを使用したクラスター化が可能となり基礎研究から量産プロセスまで対応します。

解説は…



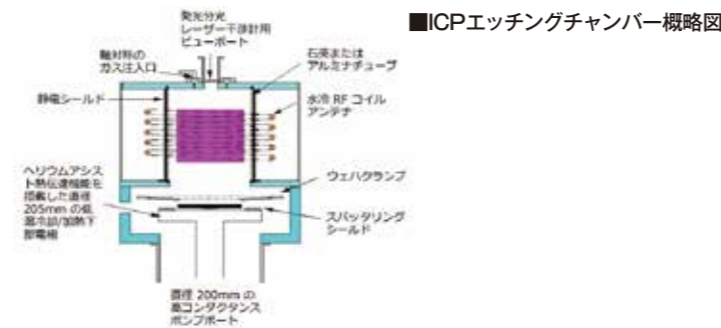
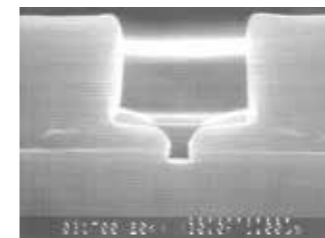
### 石井 孝治さん

博士 (工学)  
オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社  
マーケティングコミュニケーションズ  
マーケットデベロップメント

### ■基本仕様

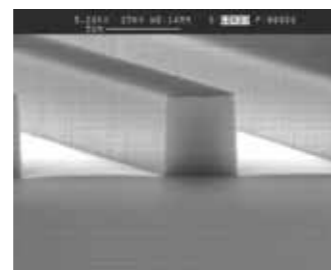
(Oxford Instruments, Plasma Technology Plasmalab 100 ICP180)  
プラズマ源: ICP(誘導結合プラズマ) / 基板サイズ: 小片~φ200mm / 基板ステージ: メカニカルクランプ / アンテナ及びバイアス: RF高周波電源搭載 / 排気系: エッチング室TMP+DRPまたはロータリーポンプ / 制御系: PLC+PCキーボード / ガス導入系: 最大8系統 / アプリケーション: SiCやGaNパワー半導体、InPやGaAsなど化合物半導体、Si、ポリイミド、金など / 装置コンセプト: 開発試作

### ■MESFET/HEMT 0.2μmリセスゲート用GaAs/AlGaAs選択性エッチングプロセス



■ICPエッチングチャンバー概略図

### ■Cl<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>エッチング導波路



### ■VCSELエッチング用SiCl<sub>4</sub>/Arプロセス



### 幅広い化合物半導体の垂直エッチング技術

半導体デバイスは、基本的に成膜、リソグラフィ、エッチングの繰り返しで形成され、特にエッチング技術は、デバイスの寸法などを決める非常に大事なプロセスであると同時に、側壁のダメージ有無により、大きくデバイスの最終特性に影響を与えることになります。そのため、常に高い再現性、安定性など求められることになります。特に半導体レーザーなどで利用される化合物半導体では、複数の元素が組み合わさり、さらに異なる組成層が積み重なっているため、高い垂直性、アスペクト比を安定的に得ることは比較的むづかしくなります。また、GaAs, InP, GaN などそれぞれによって、大きくプロセスガスやプロセスレシピが異なることになります。

しかしながら、NANOBIICにあるICP-RIEは、化合物半導体では特に広いプロセスウィンドウを持っていることが知られている装置であり、多くの学術論文誌でも、同型の装置を利用したエッチングが利用されています。そのため、ベースとなるプロセスレシピは、比較的容易に手に入れることもできますので、新たに利用するユーザも比較的短時間で、プロセス開発ができるはずですよ。

我々の研究室では、この装置を利用し、InP系の端面射出型レーザーや、GaAs系VCSELを作製し、世界唯一や世界最高性能のデバイスを実際に実現することに成功しています。また、隣の研究室では、GaN電子デバイスを作製する事にも成功しています。

みなさんも、NANOBIICの本装置を利用することで、円滑なデバイス研究ができるのではないのでしょうか？



# 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次的に走査し、試料から得られる二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、通常は、試料室内を大気圧の1,000,000,000分の1(10<sup>-9</sup>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、そのままの状態を観察が可能です。

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する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ない食感

### 〈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

のアイスキ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：タンガステン方式  
 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<sup>-4</sup> / 低真空10～130Pa / ESEM10～2600Pa  
 加速電圧：0.2～30kV  
 照射電流：2μA  
 倍率：×6～×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 文司さん**  
 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

## 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下で行われるため、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。

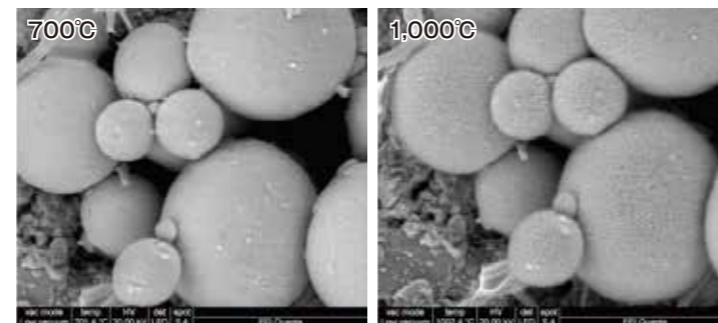
もちろん、通常のSEM観察やEDS(エネルギー分散型X線分光透過電子顕微鏡)観察も可能であり、汎用性の高い装置なので、ぜひ活用していただきたいと思います。



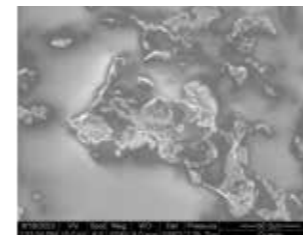
**三木 則尚**  
 慶應義塾大学  
 理工学部  
 機械工学科 教授



### ■金属粒子の加熱観察



### ■オイル中の金属



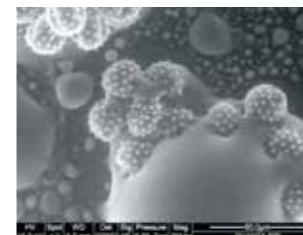
### ■NaClの加湿観察



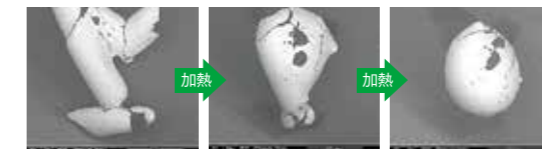
### ■加熱ステージ



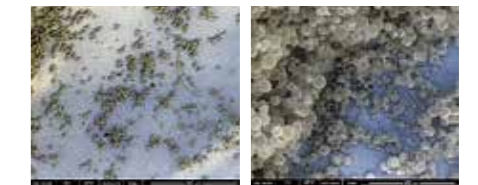
### ■水滴に吸着した花粉



### ■はんだの熔融過程観察



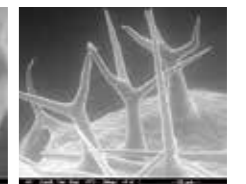
### ■マイクロフェアの膨張過程観察



### ■チーズのカビ



### ■藻類



## 自動比表面積 / 細孔分布装置

ゼオライトやMOFなど様々な材料の表面積、  
細孔径、細孔容積を測定

## 粉末および多孔質材料の高性能吸着分析装置

NANOBIに設置されているASAP™2020はコンパクトな設置面積での、粉末および多孔質材料の表面積、細孔径、細孔容積を測定するための、高性能吸着分析装置です。

標準的な方法またはユーザーがカスタマイズ可能なプロトコルを使用して、吸着剤、触媒、ゼオライト、MOF、API、賦形剤など、さまざまな多孔質および非多孔質材料の特性評価が可能です。ASAP™2020は、マイクロ細孔(0.35 ~ 2nm)およびメソ細孔(2 ~ 50nm)材料のガス吸着分析に最適な、優れた精度、分解能、データ取得を実現しています。



## ■基本仕様・特徴

- HighVac™ターボポンプ及びロータリーポンプによる高真空からの測定により高精度なマイクロ細孔の分析への対応が可能
- 細孔径測定範囲: 0.35 ~ 500nm以上
- 10mmHg, 1mmHg トランスデューサーによるマイクロ細孔までの測定
- 大容量デューワーの採用により最大連続72時間の測定が可能
- Krガスによる低比表面積測定にも対応
- 配管にSUS316を使用することによる高い耐薬品性
- 専用の前処理2ポートが独立してあるため、測定と前処理を同時に可能かつコンタミフリーに可能
- インタラクティブなレポートと解析が可能なソフトウェア
- 定容積法化学吸着への対応
- 製造: 株島津製作所

## 〈この装置の特徴〉

- 高精度なマイクロ細孔の分析への対応が可能
- 大容量デューワーの採用により最大連続72時間の測定が可能
- 測定と前処理を同時に可能かつコンタミフリーに可能

## ASAP™2020によるゼオライトのマイクロ細孔解析例

## ■ Introduction

マイクロポアオプションを備えた ASAP™2020 を使用して具体的にどの様な解析・測定が可能かお伝えするために、実際に下表の6つのゼオライトサンプルを分析した結果をご紹介します。

Zeolite Type	Trade Name	SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
H-Y (FAU)	CBV600	5.2
H-Y (FAU)	CBV760	60
H-Y (FAU)	CBV901	80
H-B (BEA)	CP 811C-300	300
H-B (BEA)	CP 811E-75	75
ZSM-5 (MFI)	CBV3020	30

これらの分析は、87Kで吸着質にアルゴンを使用して測定されました。窒素を使用したゼオライトのマイクロ細孔分析は3-4日もかかる場合がありますがアルゴンを使用すると分析を最短2日以内に短縮でき、且つウルトラマイクロ細孔(0.8nm以下)の分解能が向上するといったメリットがあります。

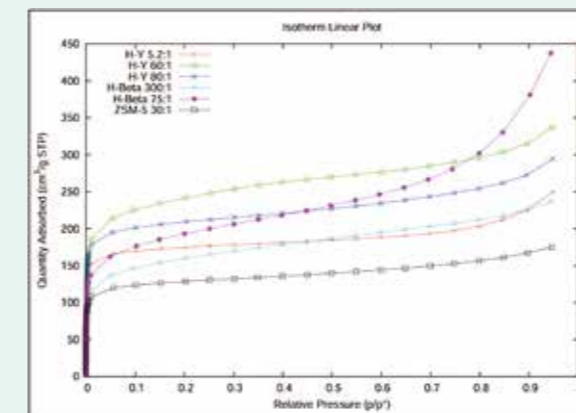
## ■ Preparation

前処理として本体の専用脱気ポートでマントルヒーターを用いて行いました。10°C/minの昇温速度で400°Cまで加熱し、脱気しながら3時間保持しました。

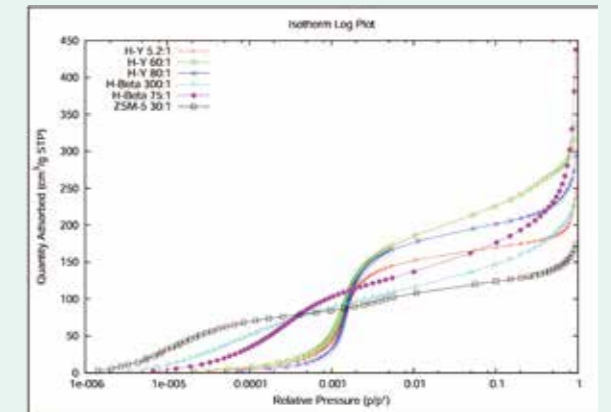
## ■ Analysis

マイクロ細孔の解析は低相対圧からの測定で行いました。各サンプルの詳細な吸着等温線の結果について、リニア吸着等温線プロット(Figure 1)と、その対数グラフの(Figure 2)をご参照ください。

■Figure 1



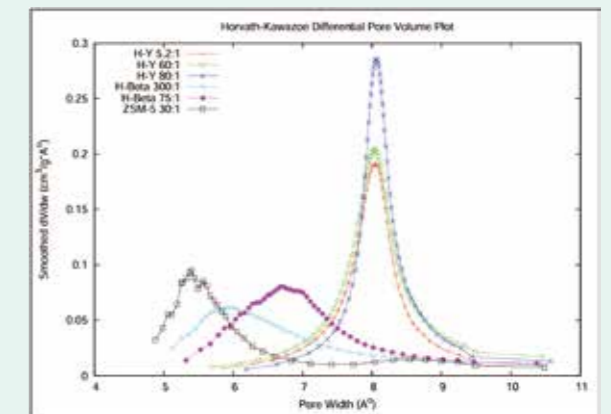
■Figure 2



H-Y の3サンプルはすべて細孔径分布が近似した傾向を示しています。それに対してその他の3サンプルは細孔径分布が大きく違う傾向を示しました。

サンプルごとの特性を更に明確化するために、Horvath-Kawazoe法を用いて分析を行った結果が(Figure 3: Horvath-Kawazoe 微分解析プロット)です。細孔分布の違いや類似性が顕著に表れているのが、ご覧いただけるとと思います。

■Figure 3



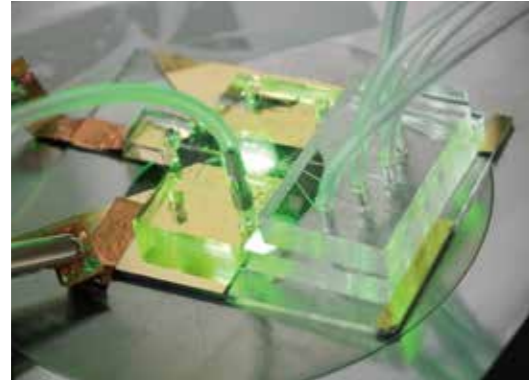
このように、NANOBIに設置された装置を有効活用することで、細孔分布や吸着性能に着目した、効率的な材料探索や開発が可能になります。

また、NANOBIには経験豊富なサポートスタッフが常駐していますので、装置の使い方レクチャーや、活用方法の相談も可能です。実際に、未経験の装置を活用して、自社製品の高度化に成功した方もいらっしゃいます。興味を持った方は、是非一度見学にいらしてください。

見学相談はコチラから  
(オープンラボ HP)



## 複数機器の活用事例 | マイクロ流体デバイスの製作



- ◆NANOBIICの装置を使えば、シリコーン樹脂やガラスに、液体を流す髪の毛程度の細い管(マイクロ流路)を作ることができます。
- ◆実際に**物質合成**や**成分分析**に利用できる、流体を扱う**様々なデバイス**も製作できます。

### マイクロ流路のメリット

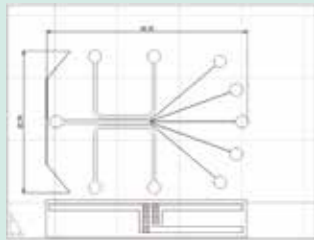
- ◆流路内は温度ムラがなく、混合も容易
- ◆省エネルギーで精密な化学反応制御が可能
- ◆超微量な検体と試薬で正確な分析も可能

### マイクロ流体デバイスの可能性

- ◆異種細胞の整列配置による人工臓器モデルの製作
- ◆危険試薬の自動操作による安全かつ簡便なマイクロドーズ臨床試験
- ◆環境汚染物質やウイルスの迅速・安全かつ高精度な分離分析
- ◆使用済製品からの精緻なレアメタルリサイクル

### 流路パターン設計

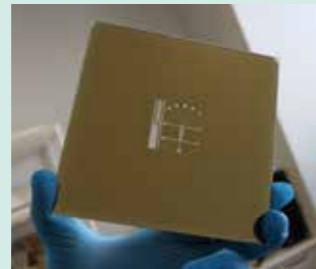
CADで流路の平面図を描く



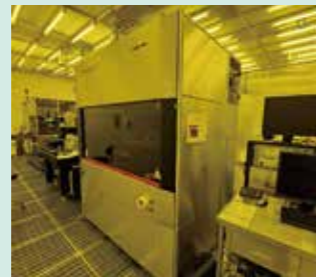
CADが使えるPCがあります。

### 流路鋳型の製作

- 1.感光性レジストに流路平面図を描画する。
- 2.化学処理で未描画の余剰レジストを除去洗浄する。



レーザー直接描画装置などのパターニング装置(P14~19)が利用できます。



酸、アルカリ、有機を扱えるドラフトチャンバーが利用できます。

### 流路の型取り

鋳型からシリコーン樹脂へ流路を転写する。



シリコーン樹脂や感光性樹脂などの**様々な材料**が用意されています。

### ガラスに電極を組み込む

ガラスに金属薄膜をつけて、電極パターンを描画し、未描画部分の除去を行う。

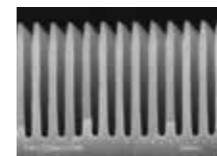


スパッタ装置で金属薄膜をつくれます。(P8~11)

電極描画には**レーザー描画装置**(P14~17)が利用できます。

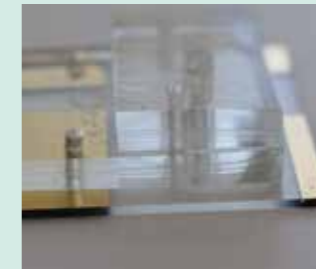
### 検査

加工表面の形状や段差の測定を行い、精度を確認。



### 流路底面の封止

シリコーン樹脂を電極付きガラスと張り合わせることで、流路の底面を封止する。



材料に適した条件の**プラズマ処理**で強固な張り合わせができます

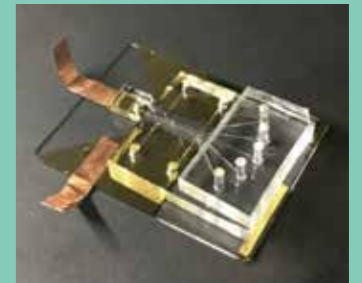


プラズマアッシャー PR510

ソフトプラズマエッチング装置 SEDE-P

### 完成

施設内でパターン設計からデバイス完成まで進められるので、試作を繰り返して、精度を高めることもできます。





# 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

## 「フレキシブルMEMSセンサーの加工 技術開発に挑んでいます」

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 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のテクノロジセンターをNANOBIICに隣接するかわさき新産業創造センター AIRBICに置いている。現在、テクノロジセンターが取り組んでいるのが、「フレキシブルMEMSセンサーの加工技術開発」である。

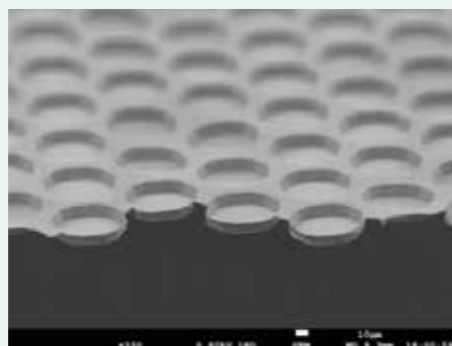
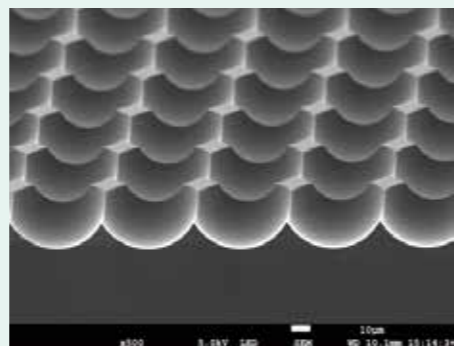
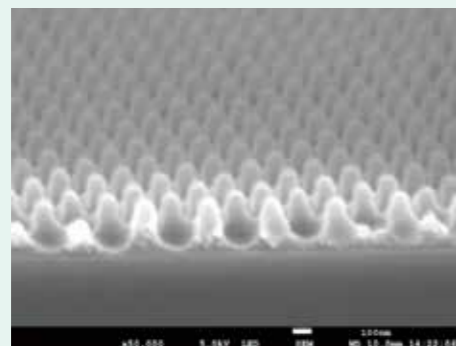
フレキシブルMEMSセンサーは、シリコンMEMSの微細加工技術やナノインプリント・薄膜技術と伸縮変形可能なポリマーフィルムを組み合わせ、高性能且つ曲面にも装着可能な量産性に優れたMEMSデバイスでIoT/トリリオンセンサー時代における有力なデバイスとして注目されている。特にポリマーフィルムは薄くて軽く、曲がって伸びる、更に大面積化が容易で簡単に切れるなどの特徴がある。

当社では、「微細加工技術」をポリマーフィルムへ応用展開することに早くから取り組んでおり、今後様々な分野へ転用さ

れるフレキシブルMEMS事業の技術展開をサポートする。そのための加工技術開発をセンサーのテスト試作を含めた形で進め、受託加工事業の拡大を目的としている。

MEMS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、マイクロレンズなどの光学素子や熱膨張性を活かした薄膜熱電対・メムレン及び医療用デバイスなどが代表的だ。それらセンサーは、微細であり且つ精度を求められる。従って、加工装置の性能だけでなく測定機器の精度が必要だ。NANOBIICでは「マスクアライナ」や「レーザー直接描画装置」「シリコン深堀りエッチング装置」などの高性能な加工装置があるが加えて「超高解像度表面形状計測装置」や「3Dリアルサーフェスビュー顕微鏡」などの精密測定機器も充実している。

「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利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、「加工技術開発には、理論と実践の両輪バランスが重要で4大学コンソーシアムとの産学連携スキームでは、それを叶えてくれる」と語る。



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(兼)企画開発室

原理と基礎理論が加工実践と組み合わせればものづくりは変わり、大学や異業種との学際交流が、事業に幅をもたらします

### Q NANOBIICを活用しようと考えた理由は?

三田 我々のような従業員100人規模の中小企業では、これだけの装置・計測器を自前で持つことは不可能だし、持ったとしても維持費や人件費の増大で費用対効果は悪い。中小企業におけるR&Dの効率化とリスク削減には、NANOBIIC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 かわさき新産業創造センター内では各建屋を歩いていると突然に先生と出くわす場面があります。ちょっとした時間で私たちは技術シーズ・ニーズを知り、先生たちは「そんな加工もできるのですか」と驚いている。先生たちと意見を交換できる場がシンポジウムなどの技術交流会だけでなく日常にあるだけでも嬉しいが、SKNC(新川崎地区ネットワーク協議会)が主催する情報交換会では参加した企業会員同士のコラボレーションも多く生まれて来ていて、産学・産産・産官交流は盛んだと思います。

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。そこにこそ最終的なメリットがあるのではないかと考えています。

### 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 NANOBIIC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、NANOBIIC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、それが分かっていたらテストの仕方が変わります。それを学べるのが、NANOBIIC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～

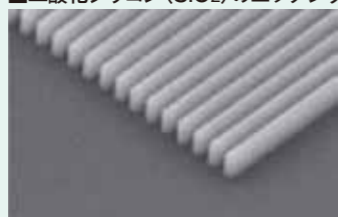
### 加工

#### ECR成膜・エッチング

■白金Ptの成膜例

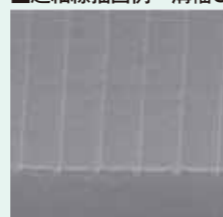


■二酸化シリコン (SiO<sub>2</sub>) のエッチング例



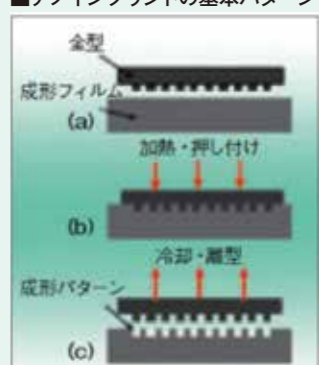
#### 超高精度電子ビーム描画装置

■超細線描画例 溝幅8nm

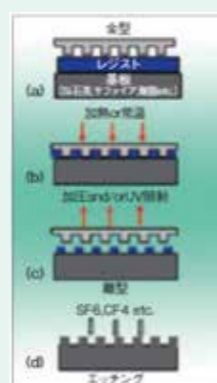


### ナノインプリント

■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)

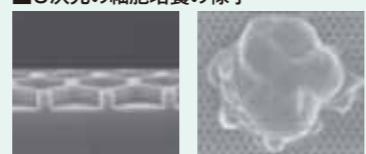


ナノパターン(φ230nmピラー)特有の干渉縞

■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

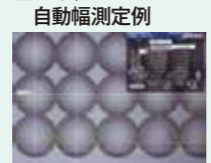


#### レーザー顕微鏡

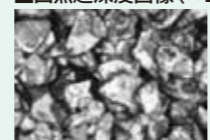
■パターン自動幅測定例



■マイクロレンズ自動幅測定例



■白黒超深度画像(×2000)



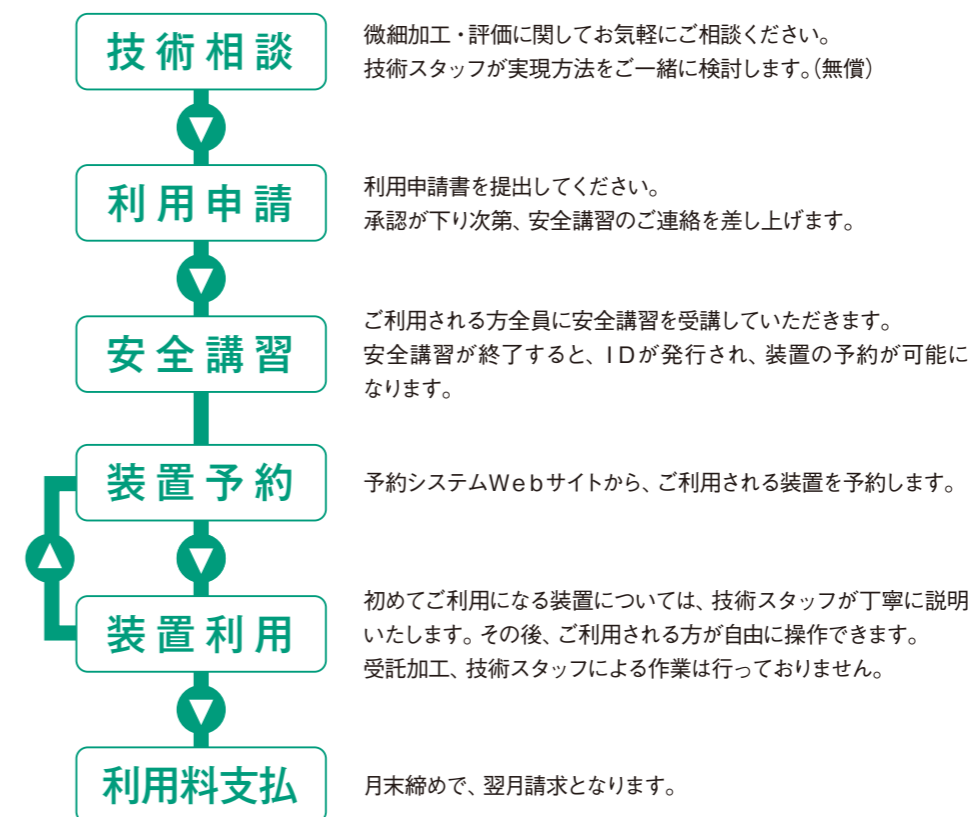
■自動車用塗料粉末カラー超深度画像(×2000)



## 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NANOBIIC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。

<https://open-labo.skr.jp>

NANOBIICオープンラボ

検索

## NANOBIIC 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(SiO<sub>2</sub>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



**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、パ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  
●バ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



**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】  
●フォトレジストのスピニング、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 スピニング**  
スピニング MS-A100  
製造：ミカサ(株)  
【主な用途・特徴】  
●レジスト塗布

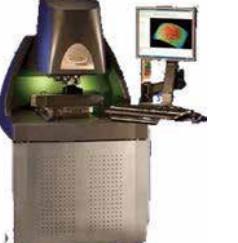
**成膜 スピニング**  
スピニング MS-A200  
製造：ミカサ(株)  
【主な用途・特徴】  
●レジスト塗布

**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 シリコン深掘りドライエッチング装置**  
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

**エッチング ドライエッチング装置**  
ソフトプラズマエッチング装置  
SEDE-P  
製造：メイワフォーシス株式会社  
【主な用途・特徴】  
●PDMS、ガラスなど接合前の表面改質  
●低出力で、材料表面のダメージが小さい

**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



**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、N<sub>2</sub>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】  
●フォトレジストの除去、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

**パターニング 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

**パターニング 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

**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 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  
●共焦点レーザー顕微鏡

**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・エイエクセス(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：協和界面科学株式会社

【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 テック株式会社

【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

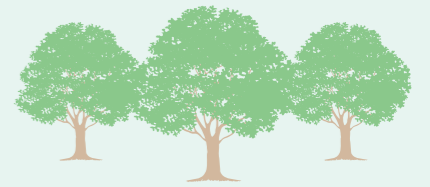
製造：大日本スクリーン製造株式会社

【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



## 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

#### K<sup>2</sup>(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

#### ナノ・マイクロ 産学官共同研究施設

NANOBIC (H24.4開設)



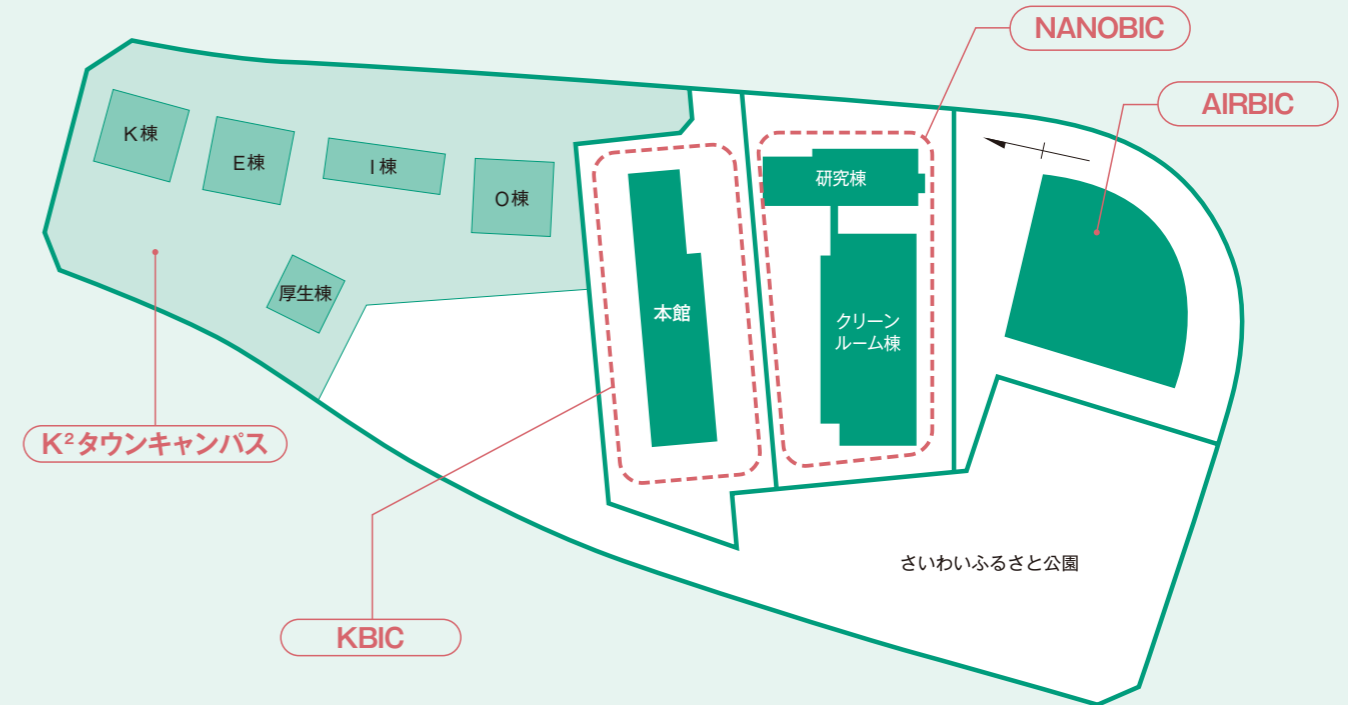
【研究棟】新事業研究室約50m<sup>2</sup>×20室

一時利用研究室約25m<sup>2</sup>×2室ほか

【クリーンルーム棟】クリーンルーム約750m<sup>2</sup>

(クラス100：約175m<sup>2</sup>、クラス10000：約575m<sup>2</sup>)

新事業研究室合計約780m<sup>2</sup>



### 第2期事業

#### かわさき新産業創造センター

KBIC本館 (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



### 第3期第2段階事業

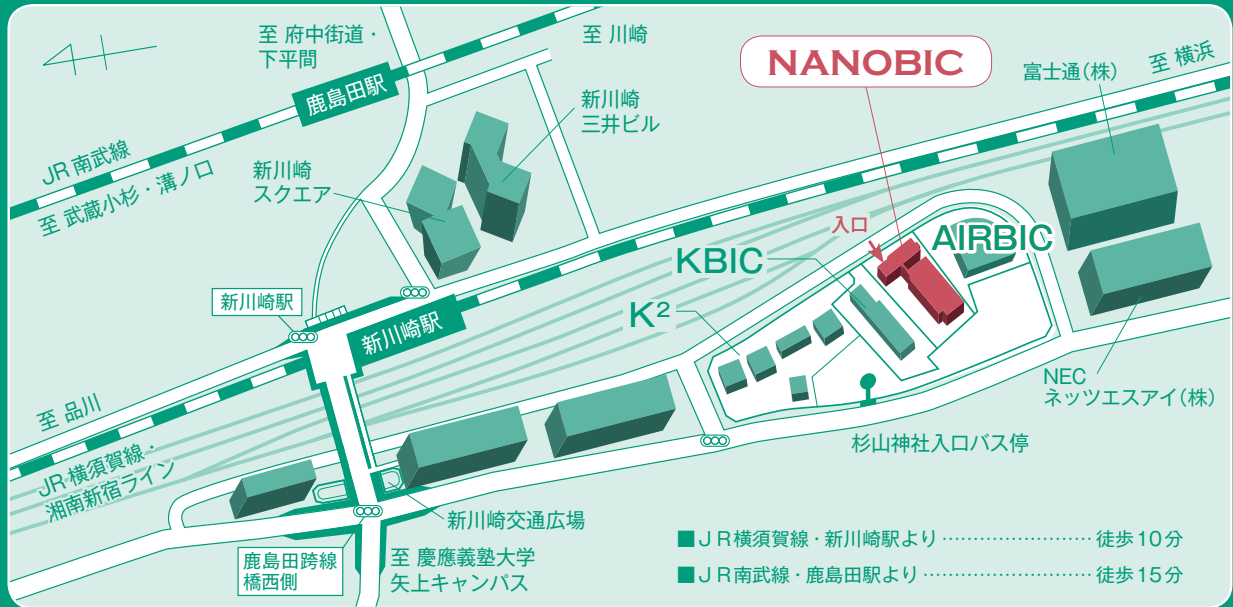
#### 産学交流・研究開発施設

AIRBIC (H31.1開設)

- 41室、約3,500m<sup>2</sup>のインキュベーションラボを新たに整備
- 研究活動を支える飲食スペースや、会議室等のカンファレンス機能を充実



# 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

お問い合わせ先  
川崎市経済労働局イノベーション推進部  
〒210-8577 川崎市川崎区宮本町1番地  
TEL:044-200-2973 FAX:044-200-3920  
28sozo@city.kawasaki.jp