



## 文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム 令和3年度技術スタッフ表彰 優秀技術賞 マルチマテリアルのためのプロセスインテグレーション

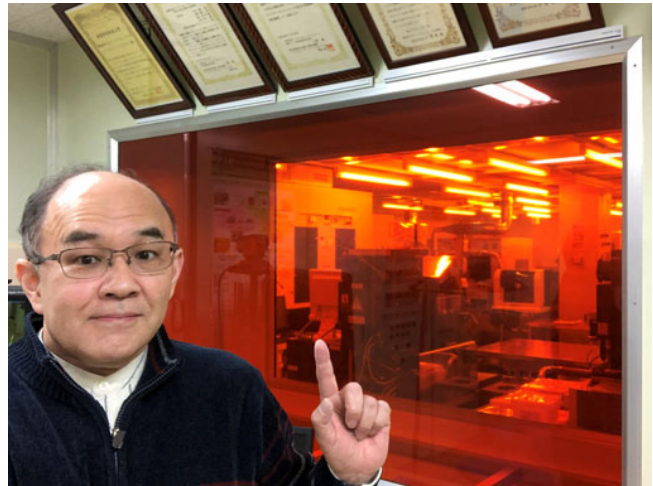
受賞者 京都大学ナノテクノロジーハブ拠点 岸村 眞治氏に聞く

文部科学省のナノテクノロジープラットフォーム事業（NPJ）は平成24年（2012年）度に10年間プロジェクトとして開始され、本年度はその最終年度となる。NPJは、微細加工プラットフォーム（PF）、微細構造解析PF、分子・物質合成PFの3技術領域の先端設備の利用機会を産官学の研究者に提供するもので、全国の大学・公的研究所等の25機関が参画して、37のPFが共用設備を揃えている [1]。各PFとも技術スタッフによる利用者支援が設備利用成果向上、利用者の専門の広がり拡大、装置利用効率の向上など、NPJの成果に大きく貢献している。NPJでは平成26年以降、毎年秀でた支援活動を行った技術スタッフを表彰しており、次の3種類の賞の授与が行われる。

- ・優秀技術賞：類まれな秀でた技術を有していると認められる者
- ・技術支援貢献賞：技術支援において多大な貢献をしたと認められる者
- ・若手技術奨励賞：35歳以下で、優れた技術支援をしたと認められる者

令和3年度の優秀技術賞に京都大学の微細加工PFの岸村 眞治氏がテーマ名「マルチマテリアルのためのプロセスインテグレーション」で選ばれた。表彰式は、令和4年（2022年）1月26日に国際ナノテクノロジー総合展・技術会議 nano tech 2022の会場（東京ビッグサイト）の会議室で行われた [2]。新型コロナウイルス感染症対策として、会場参加とオンライン参加を可能とするハイブリッド型表彰式であった。

京都大学ナノテクノロジーハブ拠点に於ける岸村氏の秀でた技術に基づく支援活動状況を伺うため、オンライン会議による取材を行った。本稿は京都大学ナノテクノロジーハブ拠点の特徴とそこでの岸村氏の豊富な経験に裏付けられた創造的活動について紹介する。



岸村氏が指差す奥にi線ステッパー



### 1. 京都大学微細加工プラットフォームの概要

#### 1.1 京都大学ナノテクノロジーハブ拠点について

京都大学ナノテクノロジーハブ拠点の組織化は平成14年（2002年）の文部科学省のプロジェクト「ナノテクノロジー総合支援プロジェクト（平成14年～18年）」に始まっている。学内の各研究組織に分散しているナノテクノロジー関連の実験装置類を一か所に集めて皆で共用することで研究効率を高めることを意図して、「京都大学ナノテクノロジーハブ拠点」、通称「京大ナノハブ」を作っ

た。文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業（NPJ）において、京都大学は、微細構造解析プラットフォーム（PF）と微細加工プラットフォーム（PF）に参画し、その内の微細加工PFは京都大学ナノテクノロジーハブ拠点对応している [3]。

京大ナノハブの特徴は、微細な半導体集積回路に加えて特にMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）に力を入れており、電子デバイスからバイオ関連デバイスまで加工できる設備・ノウハウを提供していること、無機から高分子までの各種材料を扱い、加工・構造化・デバイス化・モジュール化の工程をアンダーワンルーフ型で対応できるプロセスインテグレーション環境を提供できることが挙げられる。



図1 京大ナノハブのクリーンルーム棟

京大ナノハブは、4棟に亘って構築されており、図1に示す建物は、その一つで、次に説明するクリーンルームが入っている建物であるが、学内でも最も古い建物のひとつでレンガ造りの建物を改造している。

### 1.2 京大ナノハブの設備、装置群と支援体制

京大ナノハブでは、図2の右側写真に示すように、クリーン度がクラス100、クラス1,000のクリーンルーム、およびクラス100,000の加工評価室に別けられており、

図2の左側に示すリソグラフィー装置群、エッチング・加工・成膜装置群、分析・評価装置群が格納されている。

クラス100のクリーンルームは露光によりパターンニングする際に用いるレジスト材料が部屋の灯りで感光しないように黄色の照明を用いるイエロールームとしている。そこには、i線ステッパーを始めとし、電子ビーム描画装置やレーザー直接描画装置、高速マスクレス露光装置、両面マスクアライナーなど多様な応用領域に対応する露光装置群を揃えている。エッチング・加工・成膜および分析・評価でも同様に各種応用に対応する装置を揃えており、合計100台を超える装置（NPJ用に登録しているもの88台）[4]が、多彩な材料、構造の加工に対応している。なお、平成27年（2015年）1月には加工評価室の一部にイエロールームを設け、大面積超高速電子線描画装置を導入している。

現在、京大ナノハブの技術スタッフは13名で、これら装置群を分担して対応しており、利用者の支援を行っているが、複数の工程をインテグレートするプロセスについての利用者の要望にも応えている。

### 1.3 微細加工プラットフォームとしての運用実績

NPJは10年間プロジェクトで、本年度が最終年度となる。昨年度までの9年間の施設利用課題数（成果非公開



図2 装置群とクリーン環境

を含む)の推移を図3に示す。利用者は大企業、京大が多いが、啓蒙活動の効果もあり、中小企業も増加の傾向にある。特に京大ナノハブでは、近年バイオ系分野への支援力強化の取り組みを行っており、平成29年(2017年)にはバイオ技術推進チームというWGをスタートしている。これについては岸村氏の仕事のところで紹介する。従来の工学・理学の分野から、医学・薬学・バイオや農業にいたるまでの広い分野が対象になる。そうした活動が利用者の範囲を広げ、利用者数の増加に繋がっている。なお、令和2年(2020年)度は、新型コロナウイルス感染症流行の影響で利用課題数が減少している。

図4は令和元年度における機関別利用料の割合を示している。おおよそ企業が7割、大学が3割となっている。図5は、最近の3年間の利用形式として代行の件数の増加の様子を示している。平成30年では、利用者が自ら装置を使用する、或いは技術スタッフの補助を受けながら使用するケースが多かったが、令和元年度、令和2年度では、作業はすべて技術スタッフに任せる代行が急増した。バイオ関係等微細加工技術に不慣れな分野の利用者が増えたことを示している。令和2年度においては、コロナウイルス対策で、利用者が装置利用に立ち会えず、代行利用になる場合が増えている。

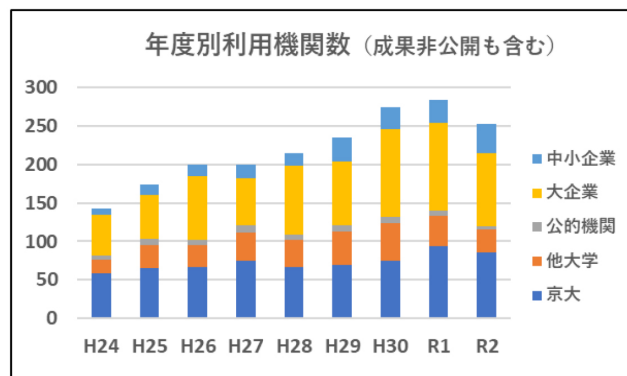


図3 共用設備利用課題数 (成果非公開を含む)

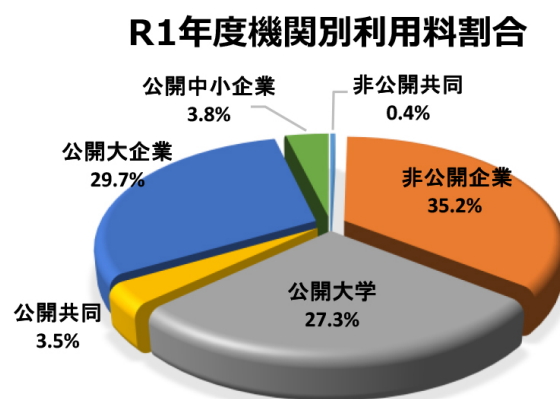


図4 令和元年度機関別利用料の割合



## 2. 岸村氏の業績概要

### 2.1 半導体製造企業勤務で蓄積された豊富な経験

岸村氏は京大ナノハブの仕事に携わる前に、次のような経験を積んでいる。

- 三菱電機株式会社において、13年の間、半導体微細加工における材料開発やプロセス開発に関する研究に従事
- この間に、平成9年(1997年)に始まった通商産業省の技術研究組合超先端電子技術開発機構ASETに出向、次世代リソグラフィー(ArFリソグラフィー)技術開発に従事。企業を跨る交流・技術融合を経験
- 続いてパナソニック株式会社において15年間、次世代リソグラフィーやCMOSイメージセンサーの開発に従事し、当時では画期的な有機半導体によるCMOSセンサーの工場導入まで推進
- この間に、フォトレジスト材料およびプロセスに関する研究で学位を取得
- 平成16年(2004年)から2年間IMEC(Interuniversity Microelectronics Centre:ベルギーに本部を置く国際研究機関)に駐在し、海外研究者や技術者との交流を通して最先端の液浸リソグラフィーによる微細加工技術の実用化に貢献

以上のように、半導体材料・プロセスを中心に研究から開発・実用化までを経験し、この間に原著論文18件、

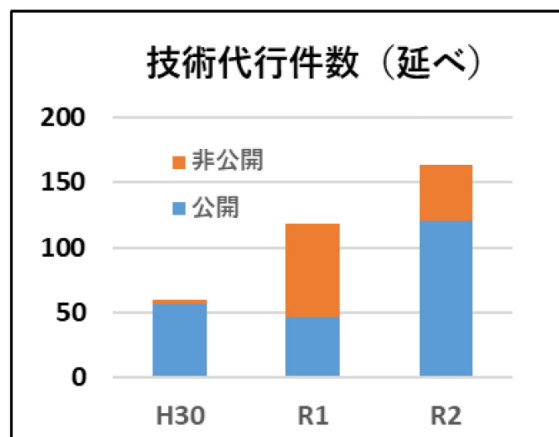


図5 技術代行の延べ件数

学会発表32件(国際学会20件含)、国内特許121件・US特許62件取得等の活動を行った。

### 2.2 京大ナノハブにおける業務

岸村氏は、平成28年(2016年)7月に京大ナノハブに招聘され、特定研究員として、支援業務を開始した。岸村氏が担当している主な装置は、リソグラフィーではステッパー(ステップ&リピートしながらウエハ全面を描画する縮小投影露光装置)、エッチングでは深掘りド

ライエッチング装置、成膜ではプラズマ CVD (Chemical Vapor Deposition) 装置、評価では AFM (原子間力顕微鏡) であるが、プロセス全体を理解しているため、利用者の技術相談に乗り、アドバイス、プロセスフローの提案、そして利用者の作業時の支援を必要に応じて行っている。

微細加工技術の利用が幅広い分野の研究者・技術者に広がるなかで、知識の少ない利用者に対しては基礎からの指導に取り組んでいるが、装置の使用を技術スタッフが代行する利用形態も図 5 に示すように増えており、拠点内のスタッフを指導しながら技術代行の体制構築にも貢献してきた。この体制は、新型コロナウイルス感染症拡大による技術代行の増大にも効果を発揮し、令和 2、3 年度の利用率収入の減少を小幅にすること、利用者の高い満足度にも貢献している。また、この体制は次に説明するバイオ系分野への支援強化によるプラットフォーム利用者増大にも効果を発揮すると思われる。

近年のデータ駆動型研究開発の実現への取り組みに呼応して、加工プロセスのデータベース化にも取り組んでおり、微細加工プラットフォームで収集するプロセスデータベースにも 48 件のデータを提供している。高分子材料の専門家でもあり、今後、マテリアル先端リサーチインフラ事業 [5] のもとでのデータ構造化に対しても貢献が期待される。

## 2.3 技術融合の啓蒙活動

### ～バイオ系分野への支援力強化の取り組み～

京大ナノハブでは少し前からバイオ系分野の利用拡大の動きがある中、岸村氏は平成 29 年 (2017 年) 8 月にバイオ技術推進チームを結成し、リーダーとなって活動推進する WG をスタートさせた。近隣のバイオ系機関と連携して、次のような知識・技術の交流・融合を図る活動を行ってきた。

- 1) 京都市の産業技術総合研究所の京都バイオ計測センター：同センター利用者のニーズを理解することを目的とし、具体的活動としては、技術交流として、ISFET (イオン選択性電界効果トランジスタ) の共同作成・評価を行った。研究会開催では「バイオナノミクス基盤技術」研究会を設立し、ナノ加工の応用によるバイオ分野の分析・解析技術のブレークスルーと新規シーズの創出を目指している。また、産官学から講師を招いて講演会を開催している。これらは、微細加工側にとってはバイオの勉強をし、バイオ側にとっては微細加工のことを知る機会となっている。
- 2) 京都大学 高等研究院 iCeMS (物質・細胞統合システム拠点) 解析センター：同センターにバイオ系の分析計測装置を京大ナノハブから移設・集結し、互いに補完し合い、細胞培養から観察・測定の効率化を可能とした。

- 3) 京都大学 医学研究科 医学研究支援センター：同センターでは 60 台以上の共通利用機器を持ち、受託解析や機器利用講習会を行っているため、そこと一緒になって、セミナーやシンポジウムなどアウトリーチ活動を行った。

このような、他機関との連携の他に、ナノハブ拠点独自の活動として、「マイクロ流路作製実習コース」や機器メーカーと共催で「バイオ AFM」のセミナー・ワークショップなども定期的に開催している。



## 3. 岸村氏の技術支援の実施例

ここでは、数ある岸村氏の技術支援の中から、微細加工の先端を駆使するプロセス技術の例、それとは逆のサイズの大きい厚膜レジストプロセスの開発、そしてバイオ系分野との融合を実現するマイクロ流体デバイスの作製例を紹介する。京大ナノハブの特徴である利用者の多様なニーズに寄り添った創造的支援活動を見ることができる。

### 3.1 DOE (回折光学素子)・偏光素子の作製

#### (1) 京大ナノハブ利用目的と試作品の要求精度

本実施例における利用者は、ソニーグローバルマニュファクチャリング&オペレーションズ株式会社である。光の回折現象を活用する DOE (回折光学素子) は、小型・軽量化が容易で、バイオ、医療、印刷、材料加工、非接触検査、光学計測など様々な分野での利用が期待されている。今回の微細加工プラットフォーム利用の目的は、光の波長程度の微細構造が要求される DOE 素子の作製に当たって、現在の加工精度の実力を把握することであった。

作製する DOE 素子構造は、石英基板に、深さ方向に段差を有する構造で、段数 3 段、一段当たりの深さ 670nm である。また、同時に作製した偏光素子では 350nm のライン&スペースが求められた。

#### (2) プロセス設計と使用装置の設定

3 段の段差のある構造体を作るので、3 回のリソグラフィを繰り返すことになる。即ち 3 回の露光によるレジストのパターニングとエッチングを行う。その際、段毎のパターンの位置合わせ精度は数 10nm 以下が要求される。この条件を満たす露光装置として図 6 の写真に示す i 線ステッパーを用いた。i 線は、超高圧水銀灯から得られる波長 365nm の光で、それより短波長はエキシマレーザーになってしまう。なお、この装置では、一般的な波長で決まる解像度の限界を超える超解像露光技術 [6]

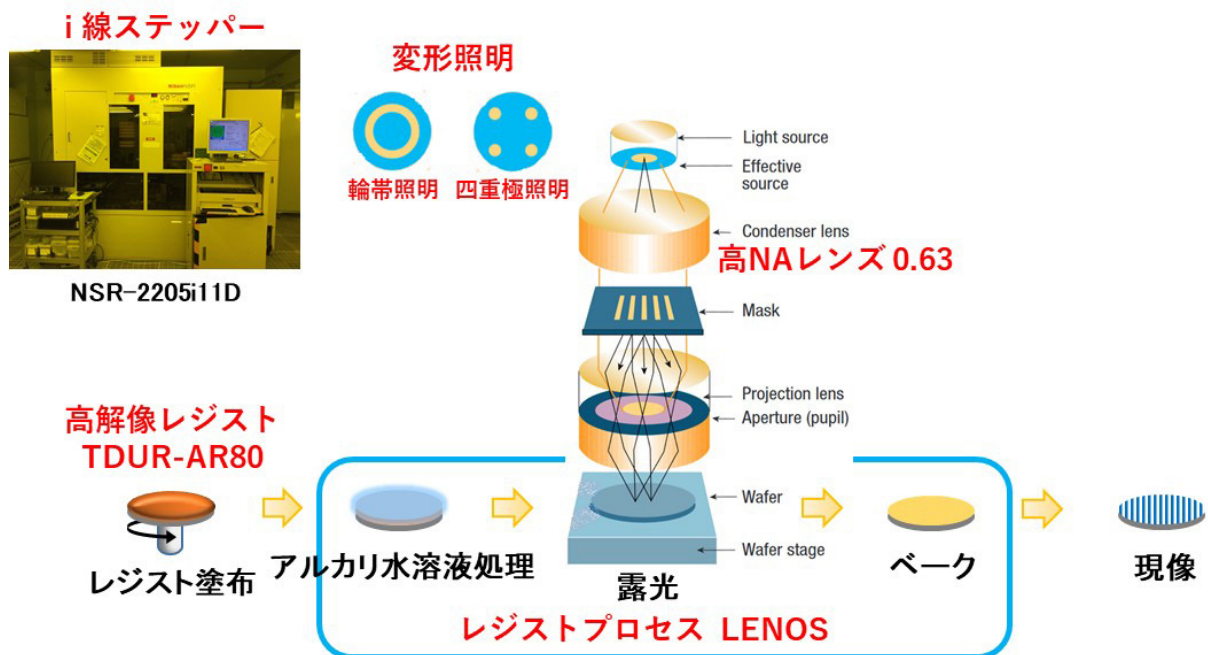


図6 i線ステッパー装置の構成と解像度向上の仕組み [6][7]

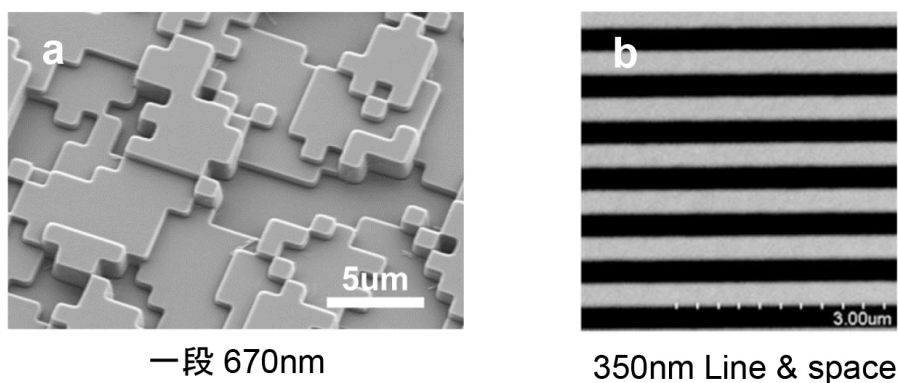


図7 試作した (a) DOE 基板と (b) 偏光素子サファイア基板

として変形照明技術が採用されており、350nmのライン & スペースを可能とすることが想定された。

変形照明技術は、図6に示すステッパーの構成図で一番上の光源とコンデンサーレンズの間に輪帯照明あるいは四重極照明のアパーチャ（水色表示）を挿入したもので、限定した光を角度を持って照射することで、焦点でのぼけが減り、焦点深度が深くなることを利用している。

### (3) i線ステッパーの性能を活かして目標達成

共用装置のi線ステッパーは超解像露光技術を取り入れていなかったため、岸村氏はこれを導入すると同時に、図6左下に示すように、ステッパーの高性能に合わせた高解像度レジスト TDUR-AR80をレジストメーカーから取り寄せ、従来使用していたレジストを取り換えた。更に基板上に塗布したレジストに、露光の前にアルカリ水溶液処理をすると解像度が向上するというレジストプロセス

[7]を取り入れた。

以上の手法により試作した結果を図7に示す。DOE、偏光素子共に目標の精度を持って実現することが確認された。

## 3.2 PMMA製マイクロ流体デバイスの作製

### (1) 利用の目的

この支援例の利用者は自治医科大学の岩淵 久美子氏である。動物細胞は発生段階・恒常性維持において生体内を移動し組織構築・再生及び免疫反応に寄与していることが知られている。その移動の分子機序は未だ明らかでない。そこで各種細胞の経皮内及び組織内移動を模したミクロンレベルの内径のグリッド構造を持つ流路デバイスが必要となり、京大ナノハブを利用することになった。この際、デバイスの材料を硬くて経済的なプラスチック

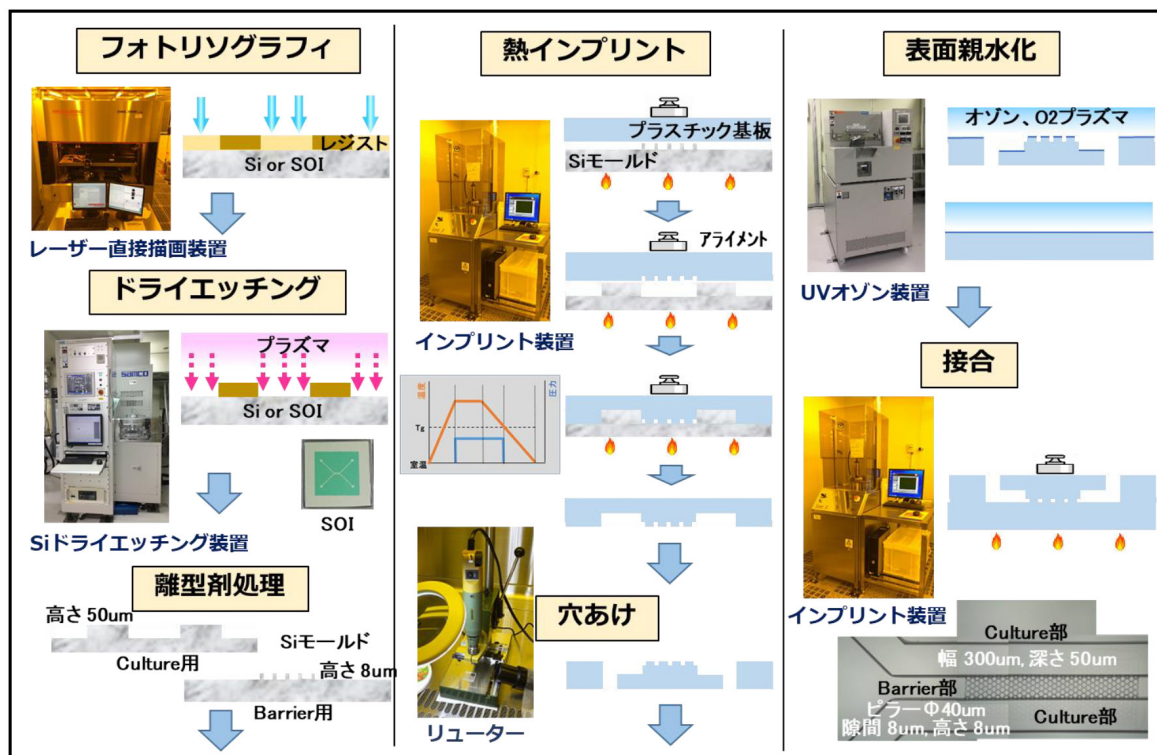


図8 PMMA製マイクロ流体デバイスの作製フロー

にすることが希望された。

## (2) 熱インプリントと樹脂接合による作製プロセスの提案と実施

利用者の要望に対応して、デバイスの材料としてPMMA (Polymethylmethacrylate: ポリメタクリル酸メチル樹脂) を取り上げることとし、この樹脂に圧縮してパターンを刻む熱インプリント法 [8] を提案した。モールドの材料としてSi (シリコン) を選び、樹脂の接合には、接着剤は使わず、表面親水化で対応するプロセスを組んだ。図8にその作製フローを示す [9]。

この試作で形成するデバイス構造は、図8の右下部分に光学顕微鏡像を示すように、二つのCulture部 (培養槽: 深さ50µm, 幅300µm) と、その溝に挟まれたBarrier部 (バリア部: 直径40µm, 高さ8µmの柱が隙間8µmで並ぶ) で構成される。二つのCulture部の溝には、それぞれ左右に溶液を出し入れする流路が形成される。

図8の左端のSiのモールド形成は、半導体プロセスでよく使われるフォトリソグラフィとドライエッチングで行う。ここで、重要なのは、モールドの50µm および8µmのエッチングの深さがそれぞれ均一に揃うことである。これが揃わないと、後の熱インプリントで平坦な面を得ることができず、さらに樹脂接合プロセスが不完全になる。そこで、モールド素材としてSiウエハの代わりにSOI (Si on Insulator) ウエハを使うこととした。Si基板の表面に形成した酸化絶縁膜 (SiO<sub>2</sub>) 表面にSi結晶の

薄層を形成したもので、その厚さを指定して購入できる。このSi薄層をモールドに使用すれば、SiのエッチングはSiO<sub>2</sub>の表面で自動的に止まるので、このモールドで整形した樹脂の表面が平坦かつ均一に揃うことになる。最後にインプリントで押し込んだモールドを剥がしやすくする離型剤処理を行う。

図8の中央に熱インプリントの工程を示す。インプリント装置の写真の下のグラフに加温 (オレンジ色) と加圧 (青色) の時間スケジュールを示している。グラフ中のT<sub>g</sub>は樹脂のガラス転移温度で、熱インプリントは、樹脂温度140℃以上、モールドに加える圧力1MPa～数MPaで行った。上記時間スケジュールは、破断欠陥等の不具合を避けるトライアルを繰り返し、決定した。

図8の右端は、PMMAの樹脂どうしを張り合わせてデバイスを形成する工程である。接合は、張り合わせる両表面をオゾンあるいは酸素プラズマに晒して、OH基が並ぶ親水化を行い、張り合わせた時に両方のOH基から水が出来て残った酸素が両表面を接続する役割を果たすことで行われる。

## (3) 試作デバイスでの動作確認

図9左は完成した試作マイクロ流体デバイスの写真で、図8で説明した二つのCulture部はデバイスの中央にあって、そこからそれぞれの溶液の入出路が、X字状に伸びている。図右は、デバイスの動作確認実験の様子を示すもので、細胞がBarrier部を通過してCulture部へ流れてい

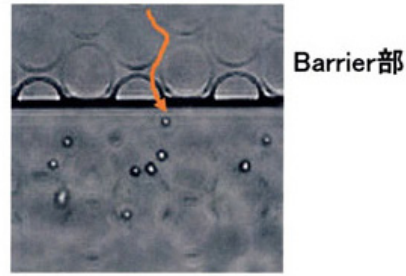
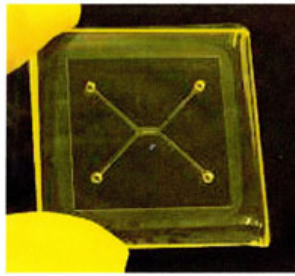


図9 完成したマイクロ流体デバイス（左）と Barrier 部の細胞遊走を確認（右）

る様子が確認された。

### 3.3 厚膜レジストプロセスの開発

ここでは2種類の厚膜レジストプロセスの開発例を紹介する。グレイスケール露光用レジスト材料と、モールド用レジストプロセスである。

#### 3.3.1 グレイスケール露光用厚膜レジスト

半導体デバイスは微細化の追求で進化を続けてきて、リソグラフィー用のレジスト材料も薄層で高解像度が求められる。その膜厚は $1\mu\text{m}$ 以下の領域である。一方、MEMSやバイオ分野で必要となる厚膜領域のレジスト開発は進んでいない。 $20\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$ ではメッキ用樹脂材料を使うこともあるが、リソグラフィー用レジスト材料として十分な特性が得られない。まして、 $50\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ ではそれも使えない。このような状況のなか、ある利用者からマクロレンズアレイを作りたいという要望があった。これにはグレイスケール露光[10]と $100\mu\text{m}$ 級の厚膜レジストが必要である。グレイスケール露光装置は京大ナノハブにあるが、このクラスのレジスト材料は世の中に無い。元々高分子材料が専門であった岸村氏はこのクラスの厚膜レジストを新規開発することを目論み、共同開発に応ずるレジストメカを探し、ナガセテムテックス株式会社の協力を得ることとなった。何種類かの材料を作ってもらった結果得られた材料で、図10に示すマイクロレンズアレイ用モールドが得られた。図10の左の二つの写真は、右が顕微鏡写真で白い点は凹面の底であり、

左は同じ面を三次元顕微鏡で撮ったもので、窪みがアレイ状に並んでいる。図10の右写真は、このモールドを用いて作ったマイクロレンズアレイで赤色のレーザーポインターを照射したもので、動作が確認された。

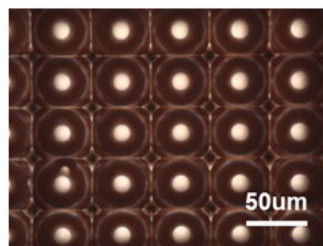
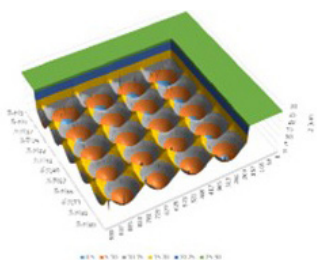
#### 3.3.2 高膜厚モールド用レジストプロセス ～厚膜2層（ $400\mu\text{m}$ ）モールド作製～

##### (1) 利用者の目的

この利用者（山口大学大学院医学研究科 清木 誠氏）は、生体内の組織または臓器に極めて似ている3次元培養システムであるオルガノイド長期培養用マイクロ流体デバイスを実現することを目標に、その製作に必要なモールドの作製に京大ナノハブを利用した。デバイスの製法としては、デバイスの材料は3.2節で紹介したプラスチックのような硬い材料ではなく、マイクロ流体デバイスによく使われるPDMS（polydimethylsiloxane：シリコンの一種）を用い、モールドに流し込み硬化させるという簡単で経済的手法を考えており、課題はモールドの作製であった。

##### (2) モールド作製の手法[9]

図11の上の図はデバイスのPillar部の構成であり、この構造の手前と向う側に高さ $400\mu\text{m}$ の大きな培養槽が形成される。このデバイス用のモールドは、 $200\mu\text{m}$ 厚のレジスト厚膜を2層重ねて形成する。一層目でPillar部と培養槽、2層目で培養槽に当たる部分を形成する露光をマ



マイクロレンズアレイ  
レジスト：ナガセテムテックスGDX 膜厚： $75\mu\text{m}$

赤色レーザーポインター照射

図10 厚膜レジスト開発によるグレイスケール露光応用

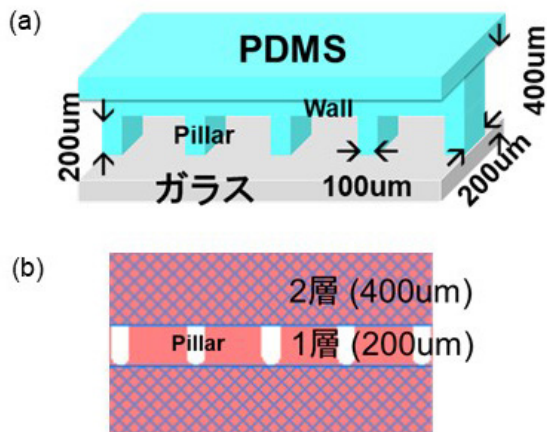


図 11 (a) 試作マイクロ流体デバイスの Pillar 部の構造、  
(b) それを作るモールドの上面図

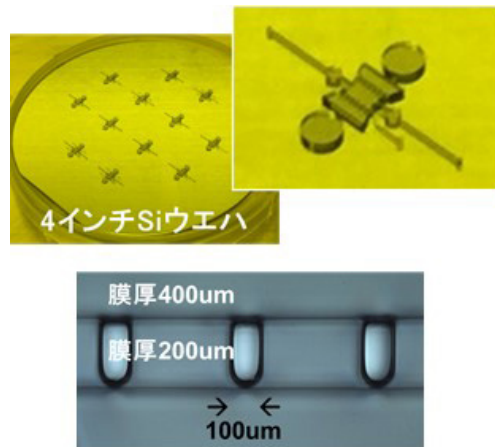


図 12 試作モールド搭載ウエハと試作モールドの拡大写真

スクライナーで行い、一括現像する手法である。図 11 の下の図は、モールドの Pillar 部と培養槽の部分を上から見た構成図である。

### (3) 課題：厚膜レジストの実現

ここでの課題はまず、このような厚膜レジストの調達であった。国内を探してもなく、海外を探してスイスの業者が製造していることが分かり、利用者に調達してもらった。この商品はエポキシ樹脂 SU-8 で、化学増幅型ネガ型フォトリソで膜厚 50 ~ 400 μm 対応である。ただ、材料は入手しても 200 μm の厚さのレジスト材料の使い方が分からないので、ウエハ表面への塗布から始めて、プリベーク、露光、PEB (Post Exposure Bake)、現像など各工程の条件出しを行い、更に、プロセスを通して発生する問題を追及解決して、厚膜 2 層モールドを完成させた。

図 12 の上の図は 4 インチ Si ウエハ上にマイクロ流体デバイス用モールドを多数並べて作製している様子と、そのモールド一個を抜き出した写真を脇に示す。図 12 の下の写真はそのモールドの培養槽に挟まれた Pillar 部の拡大写真(図 11 の (b) に相当)である。設計通りのモールドの完成が確認された。

### (4) 後書き

利用者は、このモールドを用いて PDMS 製流体デバイスを作製し、オルガノイド培養実験を進めており、三次元臓器の重力応答機構を実証する宇宙実験も予定されているとのことである。



## 4. おわりに

産業界において長年半導体の研究から開発、実用化ま

での業務に携わり、欧州の IMEC や国内では経済産業省の技術研究組合 ASET 等のコンソシアムに参加するなど、経験と実績がある岸村氏は、京大ナノハブにおいても、その持てる力を存分に発揮されている。文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業最終年度の技術スタッフ表彰における優秀技術賞の価値を高める活動と云えよう。

京大ナノハブの今後の活動について、これまで蓄積した微細加工技術を基盤として「マルチマテリアル化技術・次世代高分子マテリアル」領域におけるマテリアルデータ収集・構造化・利活用のハブ機関として展開していく [5] とのことで、プロセス全般の広い知識と経験を持ち、高分子マテリアルの専門家でもある岸村氏の益々の活躍が期待される。



## 参考文献

- [1] ナノテクノロジープラットフォームセンター、「文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業」ナノテクジャパン (Website), <https://www.nanonet.go.jp>
- [2] ナノテクノロジープラットフォームセンター、「ナノテクノロジープラットフォーム令和 3 年度秀でた利用成果と技術スタッフ表彰者が決定!!」, ナノテクジャパン (Website), [https://www.nanonet.go.jp/ntj/topics\\_gov/?mode=article&article\\_no=5858](https://www.nanonet.go.jp/ntj/topics_gov/?mode=article&article_no=5858)
- [3] 京都大学、「ナノテクノロジーハブ拠点」(Website), <http://www.nanoplat.cpi.kyoto-u.ac.jp/>
- [4] ナノテクノロジープラットフォームセンター、「京都大学ナノテクノロジーハブ拠点」, ナノテクジャパン (Website), Yellow Page, <https://www.nanonet.go.jp/yp/pf/F/KT/>
- [5] 「マテリアル先端リサーチインフラ (ARIM)」(Website), <https://www.nanonet.go.jp/arim/>



- [6] Takashi Ito, Shinji Okazaki, "Pushing the limits of lithography", Nature, Vol. 406, 1027 (2000)
- [7] Sachio Ogawa, Shigeo Uoya, Hiroshi Kimura, Hitoshi Nagata, "Latitude Enhancement Novel Single Lithography", Journal of Photopolymer Science & Technology, Vol. 2, 375 (1989)
- [8] Yoshihiko Hirai, Takashi Yoshikawa, Nobuyuki Takagi, Satoshi Yoshida, Kazuhiro Yamamoto, "Mechanical Properties of Poly-methyl methacrylate (PMMA) for Nano Imprint Lithography", Journal of Photopolymer Science and Technology, Vol. 16, 615 (2003)
- [9] 「高分子マテリアルの微細加工技術」(YouTube), <https://www.youtube.com/watch?v=yryWiKSf-q0>
- [10] 庄子征希, 上瀧英郎, 森山雅昭, 戸津健太郎, 「レーザー直接描画を用いたグレイスケールリソグラフィにおける厚膜レジストの評価」電気学会論文誌 E, Vol. 140, No. 5 (2020)

図は全て岸村氏から提供された

(向井 久和)