



文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム 平成 29 年度技術スタッフ表彰 技術支援貢献賞 電子線リソグラフィを用いたパターン形成技術支援

受賞者 山口大学 大学研究推進機構 微細加工プラットフォーム 岸村 由紀子氏に聞く



(左) 賞状と記念品の授与 (nano tech 2018 会場), (右) 山口大学の微細加工支援室にて岸村氏

平成 29 年度のナノテクノロジープラットフォーム技術スタッフ表彰式は、nano tech 2018 第 17 回国際ナノテクノロジー総合展の初日に、同プラットフォームセンターの国立研究開発法人 物質・材料研究機構 (NIMS) のブースにおいて行われた。また、受賞者の表彰対象技術の内容については、隣接したナノテクノロジープラットフォームのブースで展示パネルにより報告された。この技術スタッフ表彰で技術支援貢献賞を受賞した山口大学 大学研究推進機構 産学公連携センター ナノテクノロジープラットフォーム 微細加工支援室の岸村 由紀子 (きしむら ゆきこ) 氏は電子線を用いたパターン形成技術における技術改良を含む積極的なユーザ支援活動が評価された [1]。

今回、同大学の産学公連携センターを訪ね、岸村氏に表彰の対象となった技術支援活動について伺った。なお、微細加工支援室長の教授 浅田 裕法 (あさだ ひろのり) 氏および同支援室のスタッフの木村 隆幸 (きむら たかゆき) 氏も同席された。



1. 山口大学のナノテクノロジープラットフォームの特徴

山口大学微細加工プラットフォームは、図 1 に示す山口県宇部市の山口大学工学部がある常盤キャンパス内にあり、大学研究推進機構内に設けられた微細加工支援室により運営されている。この地域は、宇部興産を中心とした化学系企業や山口県産業技術センター、宇部高専、山口東京理科大学が近隣にあり、山口宇部空港も近く、新山口駅にも近いなど交通の便が良いのも特徴である。県を代表する研究・工業地域の一つである。

ナノテク先端装置の共用の開始は平成 19 年、文部科学省 先端研究施設共用イノベーション創出事業 ナノテクノ

ロジー・ネットワーク (平成 19 年度～23 年度) に参画したところから始まり、デバイス作製装置や真空装置等の共用による共同研究・設備利用・技術代行によって 92 件の支援を実施した。この実績をもとに、平成 24 年度より、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業に参画し、微細加工技術およびそれを下支えする真空技術分野において、山口大学が保有する設備の学外 (企業、他大学、高専、公設試など) への共用を行っている。

1.1 山口大学微細加工プラットフォームの支援体制と利用状況 [2]

微細加工支援室は、微細加工プラットフォームの装置を用いて自らの研究を行う 5 名の研究者と木村氏、岸村

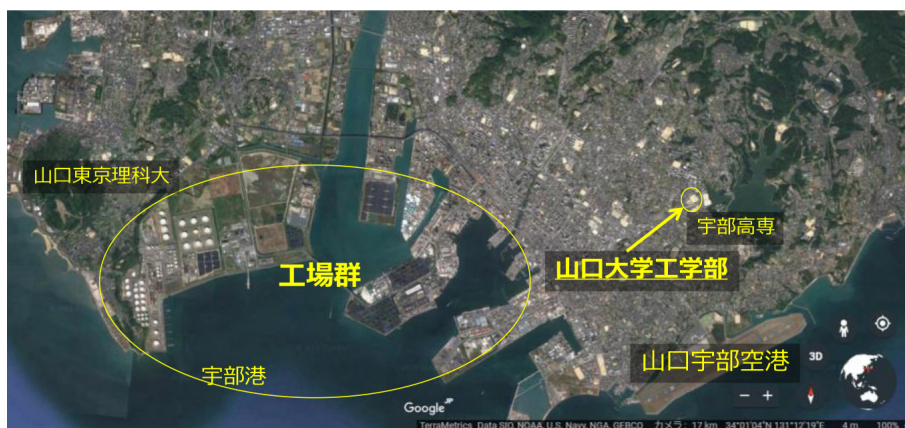


図1 山口県宇部市の中心部

氏の二人の技術支援員の組織体制である。比較的規模は小さいが、高品質の真空利用技術と微細加工技術に支援対象を絞り、技術支援員が持つ化学分野の専門能力を活かした技術支援に特徴を發揮している。

表1は山口大学微細加工プラットフォームの共用装置類一覧である。電子線描画装置など、リソグラフィを中心とした微細加工機器群及びエリプソメータ等のデバイス評価装置群と、10元超高真空スパッタ装置等の薄膜形成装置および昇温脱離ガス分析装置等の真空技術支援装置群を備えている。

図2にこのプラットフォームの利用者の所属内訳と利

用形態内訳を示す。利用形態では、技術代行、技術補助、共同研究などの支援が69%と多く、支援員が利用者を直接支援し、支援員の技術・知識が有効に機能している。

一方、利用者の所属内訳では民間企業が比較的多く、大企業、中小企業合わせて46%である。瀬戸内海沿いのこの地域は化学系の大企業が多く、特に、県外からの利用者からは技術代行の依頼が多い。宇部市内にも中小の工場群があるが、機器利用者が31%と少ないので、特に近隣の利用者による機器利用を拡大するようにPRを進めているという。

表1 山口大学微細加工プラットフォームの共用装置類

微細加工機器	デバイス評価装置
電子線描画装置(50kV) マスクアライナー ECRエッチング装置 深掘りエッチング装置	エリプソメータ 走査型電子顕微鏡 触針式表面形状測定装置
薄膜形成機器	真空技術支援装置
UHV10元スパッタ装置 3元マグネトロRFスパッタ装置	昇温脱離ガス分析装置 (ダイナミック型) 昇温脱離ガス分析装置 (高感度型) ガス放出速度測定装置 超高真空分圧測定装置

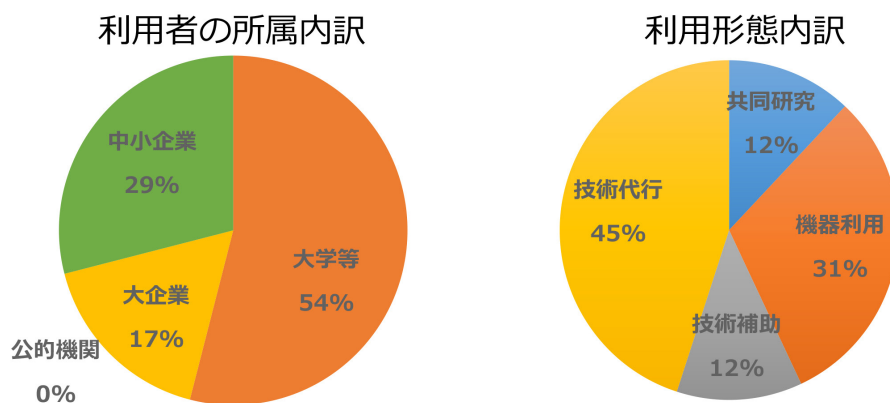


図2 山口大学微細加工プラットフォームの利用者所属と利用形態内訳

1.2 プラットフォームが提供する支援技術

山口大学のプラットフォームでは、微細加工と真空技術について技術支援員の専門である化学の知識とスキルを活かして次のような利用者の支援を行っている。

(1) 微細加工

①種々のフォトマスクの作製：電子線描画装置を用いて2.5インチマスクを作製する。装置付属のCADを用いたマスクパターン設計、あるいは、CAD図形（DXF、GDSII、BMPなど）からコンバートしたデータの入力もできる。

②新規レジストの開発：レジストの塗布→ベーク→描画（露光）→現像、そしてSEMによる評価までの一連の作業を行うことができ、超高精細な電子線描画装置ELS-7500EX（加速電圧50kV）を用いて新規電子線用レジスト開発を支援している。

③エッチング併用によるパターン作製：電子線描画装置によるマスク作製、マスクアライナーによるパターン露光、エッチング装置によるエッチング・アッシング、SEMによる形状確認の一連の作業を行うことが可能で、ピラー、ホール、トレンチ等の種々の形状の作製が可能である。

図3の断面写真に示す支援例では、深堀りエッチングによるピラーで、シリコンウエハ表面に疎水面を実現している（利用者：宇部工業高等専門学校 徳永 敦士氏）。

④その他の微細加工支援例（利用者：長岡技術科学大学 石橋隆幸氏）：ビスマス置換型磁性ガーネット薄膜を使ったホログラム作製のプロセス開発の支援を行った。ホログラムパターンをガーネット薄膜に形成するためのエッチングなどのプロセス技術の立ち上げに成功した。この場合は、フォトリソグラフィとドライエッチングを適用した。図4は、作製したホログラムにレーザー光を透過させてスクリーンに投影した再生像である [3] [4]。

(2) 真空技術

技術支援員の木村氏は真空技術に関するスキルと化学分野の専門能力を活かして、真空技術の活用、薄膜真空蒸着等の分野で活動をしている。装置類は、以前から行ってきた真空活用研究の中で、実験の目的に合わせて設計し改良したものを揃えている。その一つは昇温脱離ガス分析装置（ダイナミック型）である。日本電子（株）製であるが、色々な機能を盛り込んだ特別仕様で、各種の材料や電子部品・デバイスからの発生ガス（種類と量）を通電・駆動状態で測定可能という。

図5はその真空チャンバー付近の写真で、チャンバー内試料に電流を供給する端子が見えている。真空度測定

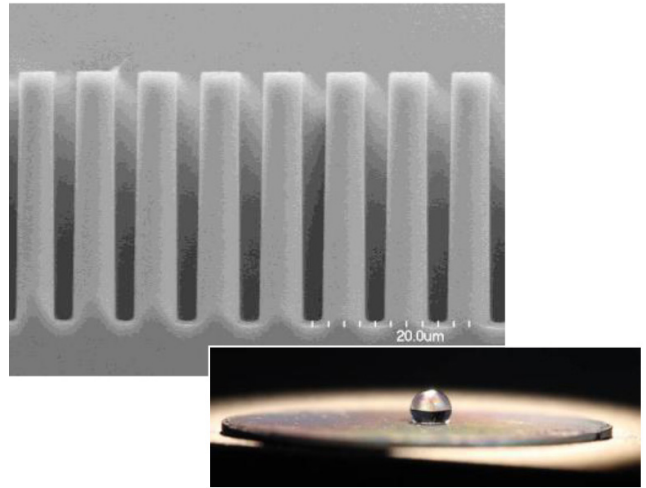


図3 シリコンウエハ表面にピラーを形成し（上）、疎水面の実現により液滴が保持されている（下）。

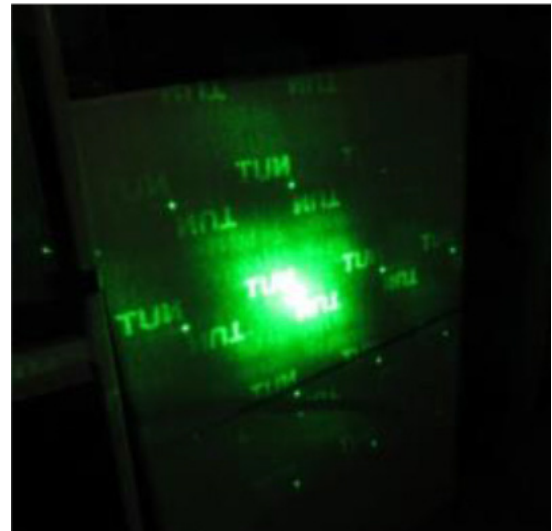


図4 ホログラムパターンの再生像

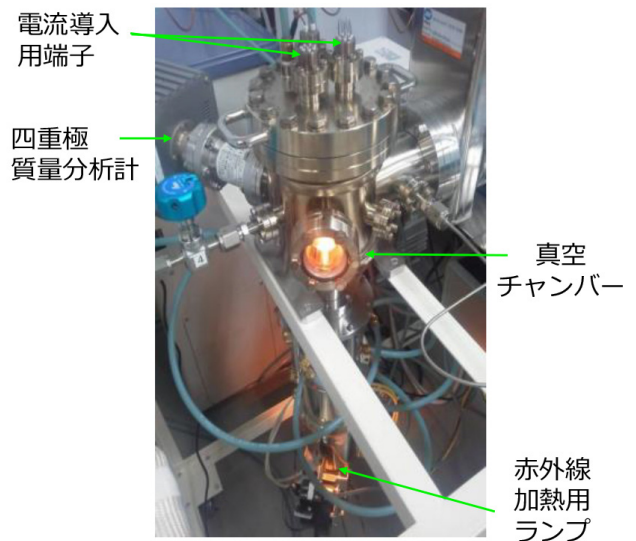


図5 昇温脱離ガス分析装置

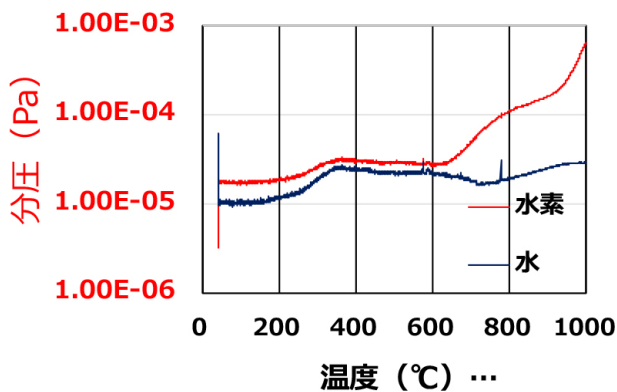


図6 金属からの昇温脱離ガス (H₂・H₂O)

下限は 1×10^{-6} Pa, 加熱温度は室温～1000℃である。図6は測定例で、真空中で金属を加熱した際の脱離ガスを調べている。

図7は、この昇温脱離ガス分析装置(ダイナミック型)に備え付けたもう一つの試料挿入チャンバーで、ガス雰囲気中で動作するデバイスから脱離するガスを検出するものである。写真は太陽電池の例で、光ファイバーで光を当てた発電状態で測定している。図右のグラフでは、横軸は時間経緯であるが、初めの約20分は温度を測定温度の200℃まで立ち上げる時間である。この間開放電圧(水色)は下がり続け、その後は200℃の値に保たれ、2種類の脱離ガス(朱色、緑色)が、高温になった初期に現れる、などの分析が出来る。

このように、本装置では超高真空での僅かなガスを感度よく検出でき、また試料の動作状態や温度・ガス雰囲気など各種条件下での評価もでき、デバイスや材料の研究開発を支援する強力な手段と考えられる。山口大学の微細加工プラットフォーム利用の1/3は真空関係とのことである。

1.3 微細加工支援室の対外活動

上記、微細加工プラットフォームの利用者への支援の他に、支援員の活動として、社会人向け公開講座「真空技術の基礎と応用(講義・演習・実習)」を開講して人材

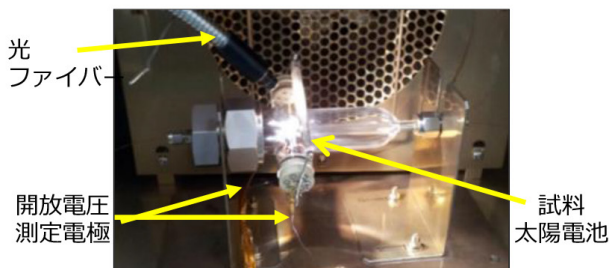


図7 窒素ガス等の雰囲気中で、小型モータ、太陽電池等デバイスの動作中に発生するガスをマスマススペクトロスコピー(MS)装置に導出する試料挿入チャンバー(左の写真)と、太陽電池を200℃に加熱した場合の開放電圧と脱離ガスを測定した一例(右のグラフ)。

育成を行ったり、また、学内の枠を飛び越え企業に出張講義も行い好評を得ているという。

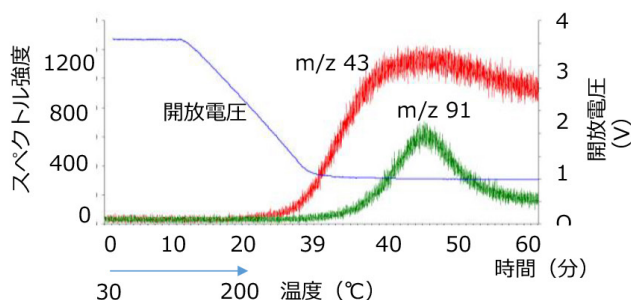
また、近年力を入れているのが瀬戸内海地区の広島大学・香川大学・北九州産業技術推進機構との連携活動で、相互支援だけではなく、4機関共同のシンポジウム・遠隔講義を行っている。特に岸村氏は平成24年度より、4機関の女性支援者による女子支援者交流会を開催している。元々山口大学と香川大学の女性支援員がお互いの支援未経験分野の情報交換を頻繁に行っていたのがきっかけで、現在は通常業務に負担のない範囲で中国・四国・九州の機関を中心に活動を行っている。技術系・事務系の壁を越えて、定期的 Skype(無料のチャットとビデオ通話)会議の他に、研修やシンポジウムで集合した際にミーティングを行い、支援スキルの向上、連携申し込み案件の処理円滑化、子育て世代のワークライフのバランス推進などの効果を挙げている。

2. 電子線リソグラフィを用いたパターン形成支援の例

この章では、岸村氏の技術支援貢献賞受賞の対象となった「電子線を用いたパターン形成技術における技術改良を含む積極的なユーザ支援活動」を、詳しく紹介する。

2.1 MEMS用電子線レジスト多分岐ポリマーの描画性能評価

この支援例は、熊本大学の国武雅司氏と合同会社グルーオンラボの星野亮一氏が、MEMS製造用の電子線リソグラフィ用に開発した三分岐PMMAレジスト[5]の評価である。従来の半導体デバイス製造の電子線リソグラフィ用の一般的レジストに用いるポリマーが直鎖状の構造を持つものに対して、分岐構造を導入することで物理特性を変化させることが行われているが、今回開発されたものは、図8に示すようにベンゼン分子をコアとし、PMMA鎖を基本構造とする三分岐ポリマーである。MEMSの製作によく使われるリフトオフプロセスや深堀りする三次



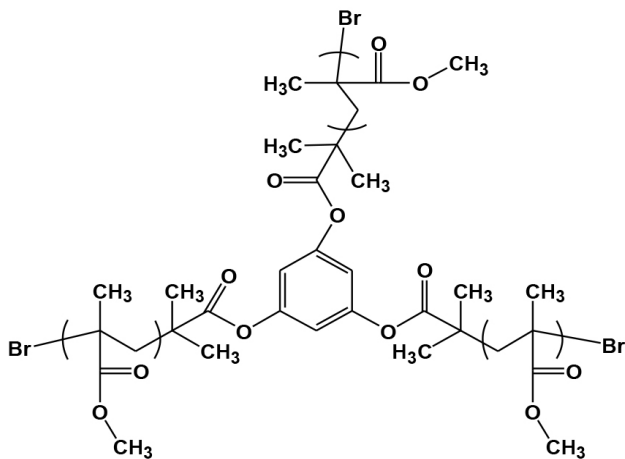
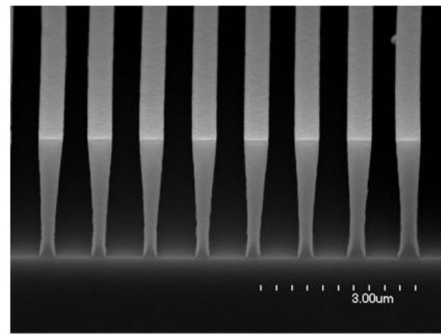


図8 三分岐PMMAレジストの構造



Equipment : ELS-7500EX(ELIONIX)
 Thickness : 2.4 μm
 Area dose : 440 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$
 Developer : MIBK:IPA=1:2

図9 ライン&スペースのエッチング形状

元構造の製作に必要な厚膜塗布が容易で、形状制御が可能なレジストである。

岸村氏は、このレジスト開発に協力し、次の二つの描画性能評価を行った。

(1) リフトオフプロセス用のレジストパターンの作製例

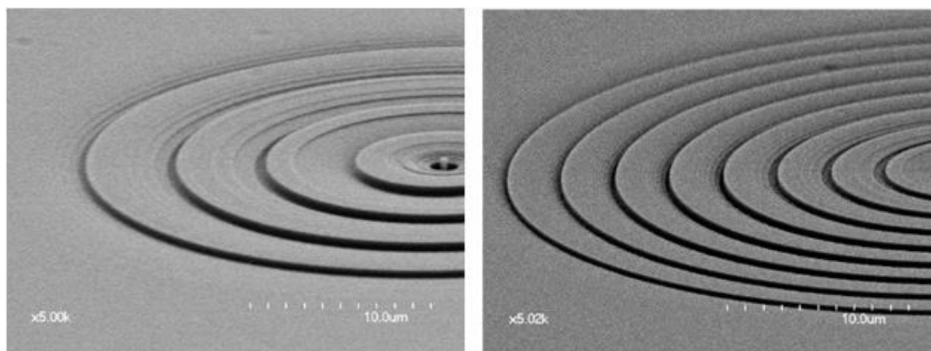
リフトオフプロセスとは、まずレジストパターンを形成し(図9はその好例)このパターン上に金属を蒸着し、レジストを取り去るとレジストがない部分だけに金属が残る、金属をエッチングすることなしに金属パターンを作る手法である。金属蒸着時にレジストパターンの側壁に金属が付かないように、側壁が逆テーパになっていることが望ましい。

新開発レジストでは、厚さ数 μm のレジストの厚膜をスピナーによる一度塗りでも形成できた。その上に微細加工プラットフォームの電子線描画機 ELS-7500EX (エリオニクス社製) によりパターン描画を行い、現像液に浸すことで、図9に示す厚さ 2.4 μm で高アスペクト比

の 500nm/500nm のライン&スペースを逆テーパ形状で実現した。ここで、逆テーパ形状は電子線の散乱により形成され、理想的形状が実現できた。

(2) ブレーズドサークルパターンの形成

同レジストを用いて、図10に示すブレーズドサークルパターンを作製した。ブレーズドサークルは、断面形状が鋸歯状(ブレーズ)で反射型の回折格子として利用される。この作製には、電子線のドーズ量を狭い領域で傾斜的に変化させる必要があり、ELS-7500EXを用いて装置製造メーカーの協力を得て露光条件のレシピを作り、ハーフトーン露光を実現できた。また、露光後の現像液は、良溶媒のMIBKと貧溶媒のIPAとの混合比や、現像液の組成を変えることにより現像液の強弱を制御できる。図10の左の写真の現像液はリフトオフプロセス用レジストで用いたものと同じMIBK:IPA=1:2であった。同図右の写真は現像液をMIBK:IPA=1:3に変更することによって、傾斜部の平滑性を向上することが出来た。



Equipment : ELS-7500EX(ELIONIX)
 Area dose : 30 - 360 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$
 Developer : ① MIBK:IPA=1:2 ② MIBK:IPA=1:3

図10 ブレーズドサークルパターン、レジストレシピを作成しハーフトーン露光を実現(左)、さらに、現像液と貧溶媒の比率調整による傾斜部の平滑化(右)。

2.2 大小混在パターンに対応する電子線・光混用リソグラフィ用レジストの開発 [6]

電子線 (EB) リソグラフィは分解能の観点において優れているが、光 (UV) リソグラフィに比べるとスループットが劣る。岸村氏は、EB リソグラフィが必要な微細パターンと、UV リソグラフィの高スループットが必要な面積の大きいパターンが存在する混在パターンのリソグラフィ工程の簡素化を目的として、同一レジスト膜上で両方の露光源が使えるレジストの開発を考えた。例えば μm , mm オーダーの大面积パッド部と、nm オーダーの狭小ワイヤ部を有する電極の作製などへ応用ができる。

そこで岸村氏たちは、様々な組成のノボラック樹脂と感光材を組み合わせ、UV と電子線リソグラフィ両方の評価を行い、次に示すような一括露光によるパターン形成の成果を得た。2 種類のノボラック樹脂 A と B を溶剤に溶解し、感光剤を加え攪拌し、レジスト A と B を合成した。まず、ともに UV リソグラフィで解像することを確認した。EB 描画では、レジスト A はパターンを形成す

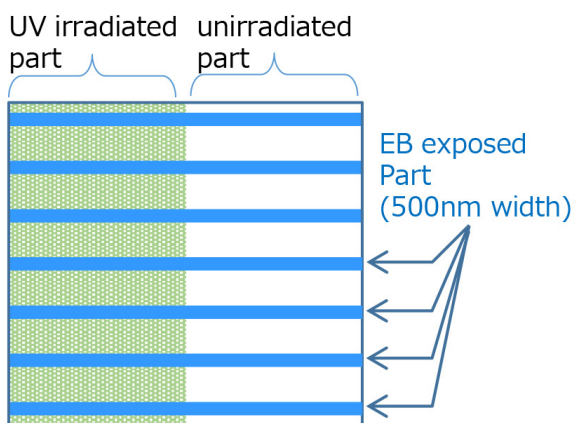


図 11 光 (UV) 露光と電子線 (EB) 露光を行う領域

ることが確認されたが、レジスト B は電子線のみの照射ではパターンは形成されなかった。なお、レジストには、露光部分が現像液で溶解するポジ型レジストと、露光部分はもともと現像液に溶解せず、未露光部のみ溶解するネガ型レジストがあるが、この実験で用いたレジストはポジ型である。

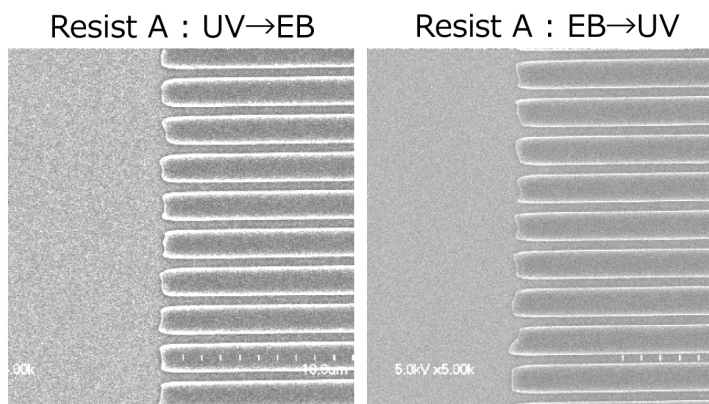
次に図 11 に示すよう EB と UV の露光が重なるところと重ならないところがある混在パターンにおいて露光評価を行った。レジスト A の場合は、図 12 の様に照射の順序に関わらず EB と UV のどちらかを露光したところは現像液に溶解し、所望の大小混在パターンが形成された。即ち、EB と UV を一括して行うリソグラフィ用のレジストが実現している。

一方、レジスト B の場合は、図 13 に示すように、写真の右半分の EB 露光のみを行った部分は、パターンは形成されないが、EB 露光の後に UV 露光した写真の左半分は、EB 露光したところが溶解しない逆転パターンが現れた。即ち、電子線露光によりレジスト B の露光部がネガ化していることになる。

この実験で、レジスト A,B の原料樹脂の組成をわずかに制御することにより、ネガ・ポジの使い分けができる可能性が示された。

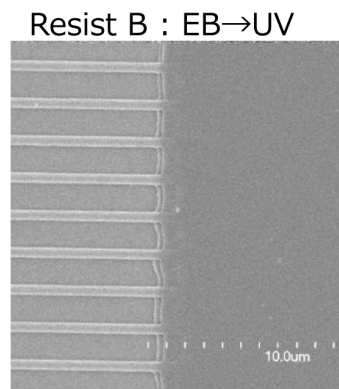
2.3 ガーネット材を用いたスピン波スピン流デバイスの開発の支援 [7]

山口大学の微細加工プラットフォームは半導体以外の各種材料も対象とすることを特徴としており、ここでその例を紹介する。ガーネット材中のスピン波スピン流の伝搬特性の評価を行うためのデバイス開発の作製支援である。電子が持つスピン角運動量の流れであるスピン流を用いたデバイスは、これまで発展を続けてきた電子デバイスのさらに先を行く次世代デバイスとして注目され



Equipment : ELS-7500EX(ELIONIX)
MJB-3(SUSS MICROTEC)
Developer : KOH 1%
(EB:100 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, UV : 80mJ/cm 2)

図 12 EB・UV 併用露光 (レジスト A)



Equipment : ELS-7500EX(ELIONIX)
MJB-3(SUSS MICROTEC)
Developer : KOH 1%
(EB:240 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, UV : 80mJ/cm 2)

図 13 EB・UV 併用露光 (レジスト B)

ている。スピン流の一つとしてスピンの歳差運動の位相のずれが波のように伝わっていくスピン波（強磁性体中の磁化の励起状態）がある（スピン波スピン流）。スピン波スピン流は絶縁性の磁性体中を流れることができる。

作製したデバイスの表面パターンを図 14 に示す。GGG（ガドリニウム・ガリウム・ガーネット）基板上に磁性ガーネット（イットリウム鉄ガーネット：YIG）薄膜を形成し、その上に白金と銅の電極を設けている。電極の加工工程の断面を図 15 に示す。山口大学ナノテクプラットフォームでは、電子線描画装置を用いて各層のマスクを作製するところから始まり、成膜、エッチング、リフトオフの一連の工程を用いて、下層のマイクロ波用誘導性結合アンテナおよび上層のアンテナ電極を作製した。

Cu 導体（図中①）に加えたマイクロ波によって強磁性絶縁体である磁性ガーネット（イットリウム鉄ガーネット）薄膜にスピン波スピン流を生じさせる。このスピン波スピン流は薄膜中を伝搬しており、逆スピンホール効果により Pt 電極から電気的信号として検出できる。この素子では、①の銅電極からの距離を変えた Pt 電極（図中②）を作製することで、スピン波スピン流の伝搬特性の評価を行うことができる。

なお、得られた試料については、利用者が自機関にてベクトルネットワークアナライザを用いて特性評価を行った。

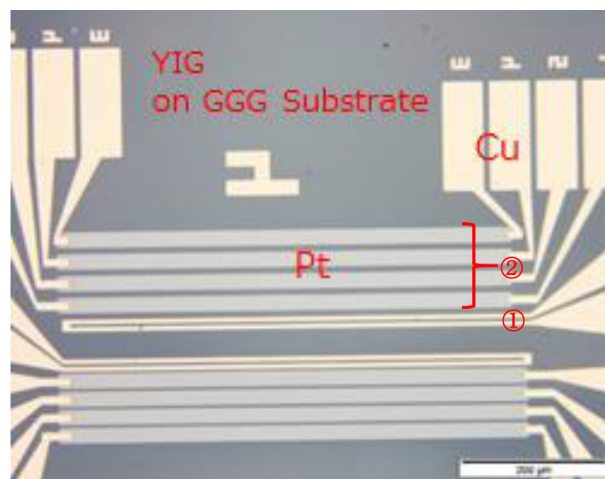


図 14 スピン波スピン流伝搬特性評価デバイス

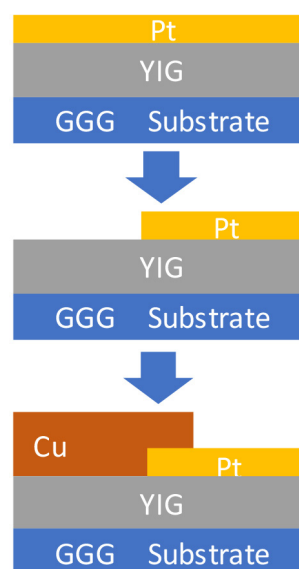


図 15 デバイス加工の流れ



3. 供用施設による研究開発支援としての今後の抱負

岸村氏は今後の抱負を次の通り語った。「山口大学は装置・設備ラインナップが多くないため、最先端のプロセスでもものづくりを行うには限界がある。その分、装置に頼らなくても利用者のニーズにできるだけ応えられるように努める必要がある。私自身も元々化学系出身で、しかも研究分野でのブランクが長かったため、微細加工に必要な知識・経験が不足していると日々実感している。今後は幅広い技術を身に付けていきたいと考えている。」

また、ナノテクノロジープラットフォームでは毎年技術スタッフ交流プログラム（他機関へ出向いて数日間研修を受け、未経験の技術を習得するプログラム）等で他機関と交流する機会が多いので、積極的に参加し技術向上に努めたいとしている。



4. おわりに

この取材を通して、プラットフォームにおける技術支援者の専門を活かして支援分野を絞り、きめ細かい技術支援・協力をを行い、地方の企業や他の研究機関に密着した活動を進めている様子を伺った。経験の蓄積や他機関

との交流などによる支援技術のレベルアップにも積極的に取り組んでいる。ナノテクノロジーの超スマート社会実現への貢献が叫ばれているが、地方大学における、地域に密着した地道な活動にその一端を垣間見る思いであった。



参考文献

- [1] 文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム平成 29 年度 技術支援貢献賞 岸村由紀子（微細加工 PF：山口大学）「電子線リソグラフィを用いたパターン形成技術支援」；http://nanonet.mext.go.jp/research_support_award/H29_Award_2.pdf
- [2] 山口大学 微細加工プラットフォーム；<http://www.nanotech.sangaku.yamaguchi-u.ac.jp/>
- [3] 石橋 隆幸（長岡技術科学大学）、「磁性体を使ったホロ

グラフィックによる3D画像表示の研究」, 山口大学
微細加工プラットフォーム 平成24年度 成果事例 ;
http://nanonet.mext.go.jp/?action=multidatabase_
[action_main_filedownload&upload_](http://nanonet.mext.go.jp/?action=multidatabase_)
[id=1141&metadata_id=20&download_flag=1](http://nanonet.mext.go.jp/?action=multidatabase_)

- [4] T. Ishibashi, et al., "Magnetic Hologram Using Bi-Substituted Garnet Films", ISAMMA 2013, Taiwan, July 21-25, 2013
- [5] 星野亮一, 国武雅司, 岸村由紀子, 「多分岐ポリマー型放射線レジストの塗布・描画性能評価」, NanotechJapan Bulletin, Vol. 11, No. 1, ナノテクノロジー PickUp (第14回) (2018) .
- [6] 岸村 由紀子, 張 帥, 浅田 裕法, 「電子線/フォトリ

ソグラフィ両用ポジ型レジストの露光特性評価」, 第64回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集, 14p-423-4

- [7] S. Tyagi, A. Kumar, A. Deka, H. Asada, P. K. Muduli, Y. Fukuma, "Study of YIG for insulator based nanoelectronics devices", 5th KIT-UPM international symposium on applied engineering and sciences, 2017.11, University Putra Malaysia, November 2017.

本文中の図面はすべて山口大学から提供されたものである.

(向井 久和)