



新しくなったクリーンルームの紹介

装置開発ユニット 高田 紀子

ただ・のりこ / 東京農工大学大学院 農学研究科 応用生命化学専攻 修士課程を修了後、民間企業を経て、2009年2月より現職。リソグラフィによる微細加工とクリーンルームの管理を担当しています。大学では糖鎖の研究を、民間企業ではカーボンナノチューブの表面処理や分析業務を行っていました。青森県出身。

リソグラフィは半導体デバイスの製造プロセスとして発展してきた技術の一つで、レジストを塗布した基板上に、光や電子線を使ってマイクロ・ナノレベルの微細なパターンを描画します。分子科学研究所では、金属薄膜の成膜と組み合わせることによる微細な電極パターンや、PDMS（ポリジメチルシロキサン：シリコン系のポリマー）樹脂で成型することによるマイクロ流路等を製作しています（図1 (a) (b)）。最近では、溶液中で金属を溶かすウェットエッチングという手法を使って、金属箔に数十～数百マイクロメートルの大きさの貫通形状をパターンニングするといった製作例も増えてきました（図1 (c)）。蒸着用マスクや光学実験用スリットとして使用されています。できるだけ均一な寸法精度で貫通形状を仕上げるために、金属箔の両面にレジストパターンをアライメントしながら製作する等の工夫を行っています。製作依頼に関しては所内から受けることが多いですが、所外からでも、文部科学

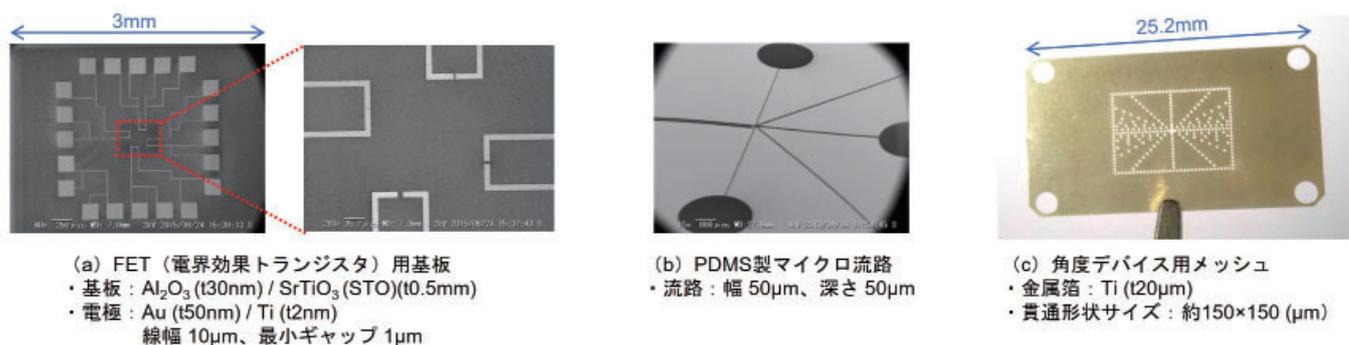
省のマテリアル先端リサーチインフラ事業を通して、主に施設利用として利用することが可能です。

クリーンルーム内には、ホワイトの照明の部屋（広さ約120 m²）とイエローの照明の部屋（広さ約80 m²）とがあり（図2）、クリーン度はクラス100（粒径≧0.5 μmの粒子数が100個/ft³（米国連邦規格209D））以下を維持しています。このクリーンルームは、2019年度の施設改修に伴い新たに設置されたもので、これまで別々の部屋に分散していたリソグラフィ関連設備が1か所に集約されました。サンプルをクリーンルームの外に持ち出すことなく製作作業を完了できるため（例外もありますが）、作業性がとても良くなりました。クリーンルーム内には、電子ビーム描画装置やマスク露光装置、スパッタ装置等のリソグラフィ関連設備や、段差計やマイクロスコプ等の観測・測定装置が並んでいます。これらを使って、研究者からの製作依頼を受けて実験に使用するデバイスの

製作や、自身で製作される方への技術的サポートを行っています。それに加え、クリーン度の維持と、安全で使いやすい実験環境の整備も重要な業務の一つとして担っています。

ここでは、新たに設置されたクリーンルーム（「新クリーンルーム」と呼ばせていただきます）の特徴と、これまでの変遷についてご紹介したいと思います。

新クリーンルームの大きな特徴の一つに、クリーンルーム内の気流の方式が「水平層流方式」に基づいていることが挙げられます。図3に示すように、クリーン度クラス100を達成するには、気流を乱流ではなく一方向に揃える「単一方向流」にする必要があるといわれています。単一方向流の方式には「垂直層流方式」と「水平層流方式」の2種類がありますが、天井全面に敷き詰めたフィルタから床下全面に向けて気流を作る「垂直層流方式」のクリーンルームを多く見かける一方で、新クリーンルームでは、壁一面にフィルタを並



(a) FET（電界効果トランジスタ）用基板
 ・基板：Al₂O₃ (130nm) / SrTiO₃ (STO) (10.5mm)
 ・電極：Au (50nm) / Ti (2nm)
 線幅 10μm、最小ギャップ 1μm

(b) PDMS製マイクロ流路
 ・流路：幅 50μm、深さ 50μm

(c) 角度デバイス用メッシュ
 ・金属箔：Ti (20μm)
 ・貫通形状サイズ：約150×150 (μm)

図1 製作例

べ、そこから水平一方向にクリーンルーム内に気流を作る「水平層流方式」を採用しました。そうすることで、「垂直層流方式」と比較して、施工コストやランニングコストを抑えることが可能となります。ただし、「水平層流方式」では、上流の発塵が下流に影響を及ぼすことがありますので、クリーンルーム内の設備や機器の配置には注意が必要です。

新クリーンルームのもう一つの特徴が、同じ装置開発ユニットのメンバーにより、自前で管理の遠隔化を図っていることです（図4）。例えば、クリーンルーム内外の差圧をリアルタイムでモニタするシステムを構築し、屋外との間に設置している粗塵フィルタの交換時期の目安にしています。安全面では、閉鎖空間における事故の早期発見のため、危険な試薬を扱う可能性があるドラフトチャンバーの近くに緊急ボタンとカメラを設置し、スタッフの居室から確認できるようにしています。他にも色々ありますが、中でも

私が特に便利だと感じていることを二つ紹介します。一つは、ガスボンベの残量が少なくなるとランプと音声で通知するシステムが構築されたことです。そうすることで、居室にいながらガスボンベの交換時期を知ることができるようになりました。もう一つは、金属薄膜を成膜するスパッタ装置にカメラを設置することで、現在セットされているターゲットの種類とチャンバー内の真空度を居室から確認できるようになったことです。クリーンルームに入るにはどうしてもクリーンウェアに着替える必要がありますので、居室にいながら確認できるというのはそれだけで時間短縮につながり、非常に助かっています。装置開発ユニットには、電子回路やプログラミング、機械加工やCADに長けたメンバーが揃っているからこそ実現できたのだと実感しています。

装置開発ユニットの職員が配属されている装置開発室は歴史がとても長く、1975年、分子科学研究所の設

立と同時に設置されました。もともとは機械加工と電子回路を主としており、現在でも機械加工だけで年間250件程度の製作依頼に対応するため、工作室では旋盤やフライス盤等の工作機械が休むことなく動いています。そんな装置開発室がリソグラフィに関わり始めたのは、私の採用からおおよそ1年後の2010年頃でした。当時、装置開発室長を兼任されていた宇理須恒雄教授の研究グループでは、リソグラフィを使って細胞パターンニング用の基板を試作していましたが、形状や製作プロセスの試行錯誤を繰り返す中で技術的な支援が必要になったことがきっかけでした。空調も付いていない小さなクリーンブースの中で、汗だくで作業していたことが懐かしく思い出されます。この技術支援を通じて、私はリソグラフィの基礎の基礎を教わり身につけることができました。2010年度末で宇理須教授が退官され、リソグラフィ関連設備が装置開発室に移管されました。2013年度には空調機付きの少し大き



図2 クリーンルームの写真

気流方式	単一方向流方式		非単一方向流方式
	垂直層流方式 Vertical Laminar Airflow Clean Room	水平層流方式 Horizontal Laminar Airflow Clean Room	乱流方式 Turbulent Airflow Clean Room
清浄度	ISOクラス3~5 (クラス1~100)	ISOクラス5(クラス100)	ISOクラス6~8 (クラス1,000~100,000)
稼働時の清浄度	作業からの影響は少ない	上流の発塵が下流に影響する	作業からの影響がある
ランニングコスト	高	中	低
レイアウト変更	容易	困難	容易
製造装置のメンテナンス	ルーム内又はリターンスペースから行う	ルーム内又はリターンスペースから行う	ルーム内から行う
将来の増設	困難	困難	やや困難
高精度空調	ルーム全体制御のためやや不均衡有	上流の発熱が下流に影響する	不均衡有
気流の流れ			

図3 クリーンルーム内における気流の方式
(日本エアテック (株) カタログより参照)

いクリーンルームが旧化学試料棟に設置され、間もなくして、現在の主要装置の一つであるマスクレス露光装置が導入されました。クリーンルームの引越しに関しては、当時技術課長であった鈴木光一氏に大変お世話になりました。また、新しい設備や機器の選定に関しては、現在の装置開発室長である山本浩史教授に多くのご助言をいただいています。その後、2015年度にスパッタ装置が、2018年度には電子ビーム描画装置が新たに導入され現在に至ります。リソグラフィを主業務とするメンバーも、私を含め3名に増えました。新クリーンルームは、これまでのものより何倍も広くクリーン度も飛躍的に向上したので、維持管理だけでも作業量がとても多いですし、私1人で

は気づかないことも多々あります。それぞれのメンバーが自分の仕事としてクリーンルームやリソグラフィに愛着をもち、よりよくしていこうという思いがしっかりとあることがとても心強く、私一人で行うよりも格段に良いクリーンルームが維持できていると感じます。実際、今のクリーンルームで製作するサンプルは、これまでよりもゴミの付着が少なくとてもきれいで、環境による影響は大きいと実感しているところです。

全国の大学や研究機関にも同じようなクリーンルームはたくさんあり、設置されている設備や機器がより充実しているところも多く存在します。そのような中で私たちの特徴は何かと考えたとき、リソグラフィだけでなく、機

械加工や電子回路等多方面からサポートできる点が挙げられると思います。リソグラフィだけでは基本的に基板しか製作できませんが、例えば、それを保持するためのホルダーや、成型したPDMS樹脂を指定の大きさにくり抜くためのポンチ等は機械加工により製作することができます。リソグラフィの工程においても、ドリルによる穴あけ加工を組み合わせることで、基板のオモテ面とウラ面にアライメントさせたレジストパターンの製作が可能になる等、加工の自由度が大きく広がります。このような装置開発室の特徴を活かしながら、これからも研究に役立つデバイス製作に貢献していく所存です。

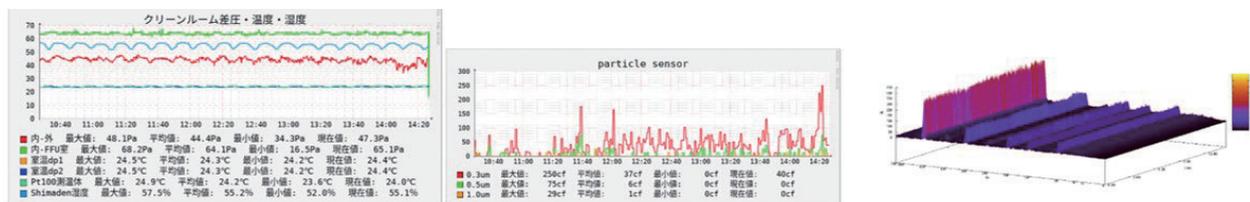


図4 クリーンルーム内の状況をリアルタイムでモニタしている
 上2段：各箇所に設置されたカメラの画像
 下左：差圧・温度・湿度、下中：パーティクル量、下右：ノイズ