

SAMCO NOW

VOL.131

2025.Oct. Quarterly

Samco-Interview — 2

九州工業大学 マイクロ化総合技術センター 副センター長
馬場 昭好 教授

À la carte — 4

京の喫茶・カフェ巡り#2 フランソア喫茶室

Information — 5

「先端技術開発棟」竣工のお知らせ

SEMICON Japan 2025 出展のお知らせ

Technical-Report — 6

原子層レベルのエッチング制御、
Atomic Layer Etching 装置の紹介

秋の京に雲海と紅葉を一望する『千手寺』あり
秋の京都観光に「雲海の絶景を望む天空の寺院」を訪れるのも一興です。亀岡市を眼下に望む美しい自然に囲まれた獨鈷拋山千手寺。807年に弘法大師によって建てられ、本尊の千手観音に因んで千手寺。目にご利益が有るといわれています。静かな山々と雲海の絶景と共に、歴史と自然美が融合した場所として多くの人々に愛されています。

撮影 © 中田 昭

九州工業大学 マイクロ化総合技術センター 副センター長

ば ば あ き よ し
馬場 昭好 教授

今回のインタビューは、九州工業大学 情報工学部 飯塚キャンパスを訪ね、馬場昭好先生に国内有数のオープンな半導体基盤プラットフォームである「マイクロ化総合技術センター」の運営と有効活用についてお話を伺いました。

経 歴	2024年04月～現在	九州工業大学 半導体人材育成・イノベーション推進特区 マイクロ化総合技術センター 教授
	2022年04月～現在	九州工業大学 先端研究・社会連携本部 マイクロ化総合技術センター 教授
	2019年04月～2022年03月	九州工業大学 オープンイノベーション推進機構 マイクロ化総合技術センター 教授
	2007年04月～2019年03月	九州工業大学 マイクロ化総合技術センター 准教授



“この設備は絶対に維持し、広く開放すべきだ”

▶ 先生のご研究についてお聞かせください

現在も半導体微細加工技術を駆使した、CMOS、MEMSおよびこれらの融合デバイスのインテグレーション技術について研究しております。直近では、深海などの極限環境で使用可能な半導体センサーの研究を行っております。ただ、最近ではこれらデバイス作製に必須な基盤設備、特に設備共用設備における設備・施設の運営に興味がありその多くの時間を割いています。若い頃から微細加工や分析に携わり、多くの大学・研究機関で装置を利用してきましたが、現場で繰り返し目にしたのは、装置が故障すると修理・保全が十分に行われず、いわば「故障したら終わり」という扱いになり、その後は次の補助金を申請して更新を図るという運用でした。私はこの状況を改善し、どうすれば設備を有効活用できるのかが気になってしまい、結局は研究テーマっぽくなっています。

もちろん、理工系の研究活動も並行しています。微細化技術を活用したデバイスやセンサーの作製、これらデバイスのプロセスインテグレーションは私の得意領域です。ただし、これらは複数の装置を組み合わせで一連の工程を完遂することが前提であり、設備が適切に整備・接続されていなければデバイスを作製し評価するところまで進みません。複数の装置を駆使すべきところで、そもそも環境側の整備が不十分な現場も少なくありません。そこで、運営と研究は不可分であるという前提に立ち、設備運営の最適化と研究成果の最大化を追求しています。

▶ このテーマに至った経緯を教えてください。

大学院生になったところから微細加工に携わり、デバイス作製には装置一台では完結しない

という現実を実地で理解してきました。必要に応じて知己の研究室に装置を借りに行くことも多く、各所のクリーンルームを見て回りました。その際、同じ装置が複数台並んでいる光景にしばしば直面し、強い違和感を覚えました。デバイスは工程の連続で成立するため、装置の種類と配置がラインとして接続されていなければ、完成に至るのは困難です。装置そのものはあってもラインになっておらず、要素技術の研究で止まってしまうという課題を繰り返し見てきました。

そんな私が着任したのは1998年で、当時の九州工業大学にはすでにφ4インチウエハーでCMOSを作れる一貫ラインが存在していました。初めてそれを見たとき、「この設備は絶対に維持し、広く開放すべきだ」と強く感じました。多くの現場で不足していたのは、まさにこの全体を貫くラインの思想だったからです。その後、2018年に中村センター長が就任し、実質オープン化の方針が強く示されました。私の考えとマイクロ化総合技術センターの方向性が一致し、開放と運営最適化を軸にした取り組みを本格化させました。

▶ マイクロ化総合技術センターの概要を教えてください。

マイクロ化総合技術センターは、φ4インチウエハーでCMOSやMEMSを作製できる一貫製造ラインを有し、設計から最終評価までを施設内で完結できます。大学・企業を問わず研究開発の広範な利用を受け入れ、スタッフ

が技術的サポートを提供します。

教育面では、社会人向けリスキリングに注力しています。スループロセスでCMOSトランジスタを作製・測定する実習を年間約20回実施しています。ウエハー投入から測定までを自ら経験することで、単一工程の断片的理解ではなく全体像としての理解に到達できます。日程はオープン日程を公開するとともに、企業からの要望に応じた1社独占の日程にも対応しています。

もう一つの特徴は装置担当制を設けない点です。スタッフは全員がCMOS・MEMSの一貫プロセスを担える体制で、工程ごとに担当者が替わらないため、シームレスな実習・利用支援が可能です。これは人員が少ない時期に一人が複数工程を担ったことに端を発しますが、結果として利用者にとっての利便性が高い方式であると評価されています。

▶ 運営面の現状と、今後の展望をお聞かせください。

マイクロ化総合技術センターは、大学からの運営費に頼らず、独自の収益でランニングコストをまかなう運営体制を確立しています。CMOSに関しては国内トップレベルの設備と運用を誇り、教育と機器利用の両立という観点でも先駆的な存在です。設計実習の立ち上げ、設備の外部開放、自己資金による人材雇用など、マイクロ化総合技術センターが一貫して重視してきた自立運営と実質的な開放を実現しています。今後は本モデルを全国に広め、同様の拠点が複数形成できればいいと思い活動をしてきたいと思っています。主要地域に同種の設備群があれば、利用者は遠隔地への移動負担

“ウエハー投入から測定までを自ら経験することで、単工程の断片的理解ではなく全体像としての理解に到達できます。”

を軽減でき、研究開発の機動性が高まります。

課題は知名度と立地です。マイクロ化総合技術センターは福岡市から車で約1時間、飯塚市の山間に位置します。「ここにクリーンルームがあるとは思わなかった」という反応を受けることも少なくありません。まずはメール相談を気軽にいただける程度まで認知を高めることを目標にしています。社会人教育については相応に知られていますが、研究開発設備としての側面はまだ十分に認知されていないのが実情です。

▶ 他機関との違いについて、利用情報の取り扱いも含めて教えてください。

マイクロ化総合技術センターは利用面ではオープンでありながら、情報は完全クローズで扱うことが可能です。報告書の提出は不要で、論文や学会発表の際に「九州工業大学 マイクロ化総合技術センター」のクレジットを記載するか否かは利用者に委ねています（願望する場合はありますが、必須ではありません）。また、持ち込み材料・持ち出し等の制限も比較的緩やかで、CMOSとMEMSの作製を両立させています。運営に関しても、大学からの運営費を受けていないため意思決定の自由度が高く迅速に課題解決できるということも特徴的です。

▶ ライン運営における装置停止の影響と、そのリスクマネジメントについてお聞かせください。

マイクロ化総合技術センターはラインで接続されています。したがって、1台でも装置が停止すれば全体の流れが止まる場合があります。とりわけ外部利用が多い場合、装置停止は多くの利用者に連鎖的な影響を及ぼします。このため、装置を止めないという前提で予防保全や状態把握を徹底し、ダウンタイムの最小化に取り組んでいます。メーカーの迅速な原因究明と柔軟な対応には大いに助けられており、部品調達に時間を要する局面でも、可能な限りの対策がなされています。ラインを運営する上では、安定稼働が最重要指標です。

▶ 弊社の装置をご使用いただいておりますが、ご感想をお聞かせください。

マイクロ化総合技術センターでの稼働率が最も高い装置の一つがサムコ製のプラズマCVD装置「PD-220NL」です。アモルファスシリコン、シリコン窒化膜、シリコン酸化膜の3種を運用できるように設定し、サムコさんの標準レシピを活用しています。これらの3種類の膜だけでほぼ予約が埋まる状況が続いています。本音を言えばもう1台欲しいところですが、予算と設置スペースが制約となっています。また、ボッシュプロセス対応のシリコン深掘り装置



左より、
ボッシュプロセス対応のシリコン深掘り装置「RIE-800iPB」初号機
塩素ガス系ICPエッチング装置「RIE-101iPH」
フッ素ガス系ICPエッチング装置「RIE-101iPH」



馬場先生とプラズマCVD装置「PD-220NL」

「RIE-800iPB」は、十数年を経た現在も、適切なメンテナンスにより条件変動が小さい状態を維持しています。その他、ICPエッチング装置2台と厚膜CVD装置「PD-100ST」を含め、サムコさんの装置は5台使っていますが、5台とも長期安定稼働しています。

▶ 日々の設備の運用で重視していることは何でしょうか。

最も重視しているのは観察です。対象が人であれば装置であれ、まず現状を丁寧に観察します。効率的に稼働できているか、阻害要因はどこにあるかを見極めます。原因を個人の問題に矮小化するのは容易ですが、構造的要因であることがほとんどです。観察に基づき情報を整理し、仮説を立て、検証する——これは理工系の実験手順と同じです。現在、マイクロ化総合技術センターには14名が在籍し、そのうち約10名が試作・実習・運用に直接関与しています。セミナー実施と機器利用のマシントイムを調整しつつ、ラインの通しを最適化することが管理上の要諦です。必要なときには迅速に是正し、改善を積み上げます。

▶ 社会人向け教育・実習の具体的な利点はどこにありますか。

スループロセス実習は、参加者が全工程を俯瞰しながら自らの手で体験できる点に特徴があります。単工程の研修は広く行われていますが、一貫してデバイスを作り上げるプログラムは限られます。CMOSという具体的な完成形を4インチラインで実際に作ることで、工程間のつながり、前後工程との依存関係、CR設備、ライン停止の影響など、多様な現場で不可欠な視点が得られます。

▶ 休日はどのように過ごされていますか。

休日は主に野菜作り、テニス、休養のいずれかです。実家の畑で野菜を作っており、毎週、高速道路で往復し農作業を楽しんでいます。天候を見極めながら予定を組むのが常で、収穫と同様に人の思うとおりにならないところが好きです。テニスは週1回確保し、可能であれば週3回まで増やしたいところですが、平日夜は突発的な業務も多く、実際には難しいことがほとんどです。体を動かした後はしっかり休むことを大切にしています。猫と一緒に寝ていたいのですが、なかなかそうはいきません。

▶ 最後に弊社に対して、一言お願いします。

私たちが目指しているのは、単に高性能な装置を導入するだけでなく、その装置を活用して社会実装につながるデバイス開発を加速させることです。そのためには、一貫したラインと、誰もがスムーズに使える運営体制が不可欠です。サムコさんの装置を選んだのは、当時の営業担当者の迅速・正確かつ丁寧な対応でした。見積もりや機能追加の相談に対するレスポンスの速さは他社を圧倒しており、導入前の実機試用も通じて、信頼性が確固たるものになりました。長期的なライン運営においては、装置の性能とそれを支えるサポートの両方が優れていることが極めて重要です。導入以来、安定稼働が継続しているという成果を高く評価しています。これからも安定して使いやすい装置の開発と長く安心できるサポートを期待しています。

お忙しいところ貴重なお時間をいただき、
ありがとうございました。

取材日：2025年8月7日

“サムコさんの装置を選んだのは、当時の営業担当者の迅速・正確かつ丁寧な対応でした。見積もりや機能追加の相談に対するレスポンスの速さは他社を圧倒しており、導入前の実機試用も通じて、信頼性が確固たるものになりました。”

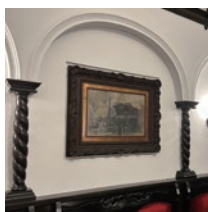
京の喫茶・カフェ巡り #2

高瀬川沿いに立つ老舗の喫茶店「フランソア喫茶室」。その建物が2003年に喫茶店としては初めて国の登録有形文化財に指定されました。ステンドグラスの窓が陽光を取り入れるだけでなく、人々を誘うかのように白壁に映えています。



珈琲または紅茶と共に味わえるケーキセットは1,350円(以下、価格は税込)。写真にあるのは「レアチーズケーキ」。オレンジコンフィがのった特製プリンは900円で、セットにすると1,550円。

創業者は、もともと画家志望だった立野正一さんです。思想や芸術を自由に語り合える場所をつくろうと、1934年に「フランソア喫茶室」を開業しました。設計・デザインを手がけたのは、京都帝国大学(後に京都大学に改称)に留学していたイタリア人アレッシンドロ・ベンチベニと、日本人画家らでした。店名は、立野さんが愛した画家、フランソア・ミレーに由来します。



名店の扉を開けると、1941年にイタリアの豪華客船の内装をイメージして大改装された北棟が広がります。その当時のデザインがほぼそのまま守り続けられています。

収集した絵画を店内に飾っており、その中には、限定複製の『モナ・リザ』や、画家・伊谷賢蔵がパリで同店のために描いた『セーヌ河畔』があります。陶製のフクロウと共に創業時から同店の歴史を見守ってきました。座席数は、創業地の南棟と、

北棟を合わせて80席(テーブル席)となっています。

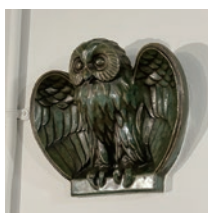
フランソア喫茶室は、創業者夫婦から次女の今井香子さん(代表取締役社長)に後継され、さらに、その長女で取締役の近藤光さんが現在、第一線で活躍しています。

近藤さんは「祖父はお洒落な人でした。気は短かったけれど、私には優しく、かわいがってくれました」と振り返ります。

クラシック音楽を聴きながら

珈琲を味わえるサロンのような喫茶室は、とりわけ言論統制される戦時中や、戦後において、異彩を放ちました。反戦の思いをもつ人たちが訪れ、創業者夫婦は彼らを応援しました。名店は、画家や学者、映画・演劇の関係者など、多くの人々を魅了し、著名人も珍しくありません。

「40年ぶりに来ました」と目を輝かせるお客様もあり、「変わらない佇まいによっ



てエモーショナルになれるのでしょう」と近藤さん。最近では、観光客も増えたそうです。

「ご来店されたときに、珈琲の香りに気持ちよほころび、その味と時間を楽しんでいただければ何よりです」
人が求める珈琲の味は千差万別で、また一昔前に比べて人々の舌が肥え、味覚へのこだわりが強まる中で、“昔ながらの味”を念頭に

おきながら、現時点でベストであろうスタンダードな味を探し求めていくそうです。ケーキについても、厳選した素材を使って昔ながらのやり方で真面目に作っていくと言い、そのため仕上がりは「素朴な感じだと思います」と語ります。

最も人気があるケーキセットは1,350円(以下、価格は税込)。中でもよく選ばれるのは、デンマーク産クリームチーズを使用し、ブルーベリーソースを添えたレアチーズケーキ。またケーキには珈琲と紅茶のどちらも合うそうです。なお、珈琲と紅茶はどちらも単品で700円。

どの席に座るかによって、見える景色が違ってくるのも同店の魅力の一つ。また比較的午前中や食事ときはお客様が少なく静かで、日中のティータイムには賑わうなど、時間帯によって変化する店内のムードを楽しむこともできます。

長い歴史があるゆえに、どこかを修繕しても、また別のところを直す必要が出てくるそうですが、「お店の色というのがあると思います。喫茶業は、単に飲み物をご提供すればよいというのではなく、準備を怠らず、清潔な空間を保ち続けてお客様をお迎えするというのが私のポリシーです。

祖父母や母が作ってくれた基盤があり、私は恵まれています。そしてお客様やスタッフなど、集まる人々の活きた暮らしがあってお店を続けていけるのだろーと思っています」



フランソア喫茶室

京都市下区西木屋町通四条下ル

TEL 075-351-4042

URL <https://francois1934.com/>

営業時間 11:00~22:00 (ラストオーダー
フード類20:00 ドリンク&ケーキ21:30)

定休日 基本的に年中無休

※12月31日、元旦、1月2日は休業

阪急「京都河原町」駅下車1番B出口すぐ



「先端技術開発棟」竣工のお知らせ

当社は、設立46周年を迎えた2025年9月1日(月)に、京都市伏見区に建設していた「先端技術開発棟」を竣工しました。先端技術開発棟のクリーンルームはクラス1,000(米国連邦規格)の清浄度で、パーティクルの発生を抑え、生産工場と環境を合わせます。実験・評価装置を拡充し、成長戦略推進の要である生産機やALE(原子層エッチング)技術など新プロセスの開発を進めてまいります。

住所：京都市伏見区竹田中宮町93番地
(現研究開発センター隣接)

建物：地上2階建て鉄骨造、
延床面積約860平方メートル



SEMICON Japan 2025 出展のお知らせ

会 期 2025年12月17日(水)～19日(金)

会 場 東京ビッグサイト

ブースNo. S1104(南ホール入り口すぐ)

SEMICON[®]
JAPAN



SEMICON Japan 2024 サムコブースの様子

半導体製造装置の先端技術が集結する日本最大の展示会「SEMICON Japan 2025」が今年も東京ビッグサイトで開催されます。

当社は、クラスターツールシステム「クラスターH[™]」、ALE(原子層エッチング)装置、クライオICPエッチング装置、枚葉式Aqua Plasma[®]装置などを最新のプロセスデータとともに展示します。さらに、カセット式反応室2室ALD装置「AD-802LPC」、リモートプラズマ方式に対応したオープンロードALD装置「AD-10P」、 $\phi 8"$ 対応のSi犠牲層除去XeF₂エッチャー「VPE-220NL」といった新製品を紹介します。また、12月18日(木)の16時からのハッピーアワーでは恒例となりました黄桜(株)様の純米大吟醸酒を振る舞います。

当社ブースは南ホール入り口エスカレーターを下りた正面にございます。SEMICON Japanにお越しの際は、ぜひお立ち寄りください。皆様のご来場を心よりお待ちしております。



読者アンケートのお願い

サムコナウへのご意見・ご感想をぜひお聞かせください。
今後の誌面の改善に役立てさせていただきます。

アンケートは
こちらから



原子層レベルのエッチング制御、 Atomic Layer Etching装置の紹介

サムコ(株) 技術開発統括部
プロセス開発3部

■はじめに

半導体デバイスの微細化・高集積化に伴い、エッチングプロセスにおける原子層レベルでの制御が求められている。その中で原子層エッチング (Atomic Layer Etching: ALE) が注目されている。ALEは改質と除去工程を交互に繰り返すサイクルプロセスで構成され¹⁾、それぞれで自己律速反応が起きる²⁾。改質工程では、エッチャントが基板表面に吸着し、1原子層のみ反応し改質層を形成する。この反応は自己律速的に進行し、それ以上は反応しない。除去工程では、改質された層のみがエッチングされ、基板と未反応の原子はエッチングされない。

2つの自己律速反応により、1サイクルで除去される原子層の厚みは一定となり、以下の特徴を有する。

1. 高精度な深さ制御

1サイクルあたりのエッチング量が数Å単位で一定であるため、非常に高精度な深さ制御が実現できる。

2. 低ダメージ

イオンエネルギーが低く、基板ダメージや欠陥の発生を最小限に抑えることができる。

3. 高均一性

ウエハ全面で均一なエッチング深さが実現され、高いプロセス再現性が得られる。

以上の特徴から、ALEはFin FET、3D NAND、パワーデバイス、化合物半導体など、最先端デバイスの製造に利用されている。ALEには、Plasma ALE、Thermal ALE、Plasma-thermal ALE等の方式がある^{3, 4)}。当社では、それぞれの方式に関して幅広く研究・開発を行っている。本稿では当社ALE装置の特徴、ならびにプロセスデータについて述べる。

■ALE装置

当社は、従来のICP (Inductively coupled plasma) エッチング装置にALE機能を追加しており、1台で両方のエッチングを行うことができる。ALE装置は以下の2つの特徴を備えている。

1. 低Bias出力の精密制御

当社のシステムではBiasの高周波伝送ラインにアッテネータと切り替えスイッチを搭載している。ALEでは、自己律速状態を実現するために非常に低い出力領域でのBias制御が求められ、材料ごとに異なる最適な制御領域を実現する必要がある。アッテネータの搭載により、低出力域におけるBias出力の高精度な制御が可能になる。さらに、当社ではアッテネータだけでなく、電力計によるBias出力管理により制御性を向上している。

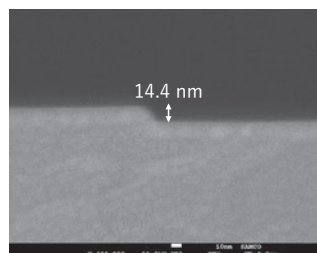


図1. ALEによるGaN/AlGaInエッチング SEM像 (500 nmトレッチ幅)

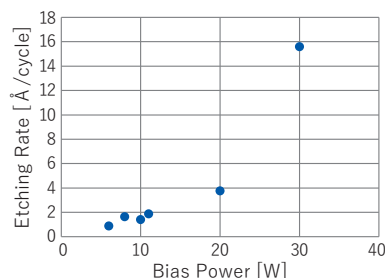


図2. Bias出力とGaN/AlGaInエッチングレート

2. ガス導入応答性の向上

反応室へのガス導入応答性を向上するため、ALE用のガスボックスを反応室近傍に配置している。ALEでは改質と除去工程でガスを入れ替えるため、ガスの切り替え導入時間の短縮がスループット向上において重要となる。ガス切替時間は、ガス配管の長さやバルブ応答時間に強く依存するため、配管構成を短くすることでガススイッチング応答を高速にし、改質の再現性を保ちつつサイクルタイムを短縮させている。また、ALEに類似したプロセスではあるが自己律速反応にならないQuasi ALEでは、改質工程 (堆積工程) のエッチャントの堆積厚さが1サイクルのエッチング深さを決定するため、ALEと比較して高精度なガススイッチング応答が必要である⁵⁾。

■プロセスデータ

φ6 インチのポリイミドテープ付き熱酸化膜Siウエハ上にGaN/AlGaIn構造のチップサンプルをオイルにて貼り付け、ALE処理を実施した。改質にはCl₂ガス、除去はArガスを使用した。

図1にエッチング幅500 nmのトレッチ形状をALE処理し、マスクであるSiN膜を除去したサンプルSEM像を示す。88 cycleのALEにてエッチング深さ14.4 nmとなった。エッチングレートは1.63 Å/cycleであり、原子層レベルのエッチング量となっている。

図2にBias出力を変更し1 cycle当たりのエッチングレートを測定した結果を示す。Bias出力6 ~ 11 Wは同程度のエッチングレートを示しており、ALEの自己律速性が成立していると考えられる。

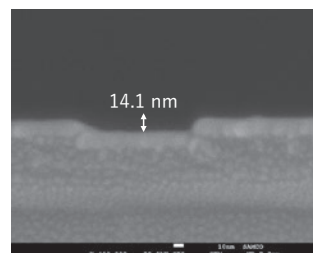
図3に500 nm幅トレッチと同じ条件で100 nm幅および200 nm幅のトレッチを処理した結果を示す。異なるパターン幅でもともに深さ14.1 nmとマイクロローディング効果を防ぎ優れた深さ均一性が得られた。

■おわりに

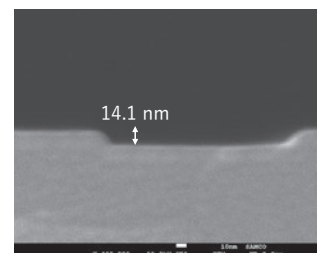
本稿では、原子層レベルでのエッチングが可能なALE装置の特徴と、プロセスデータを紹介した。ALEは従来のICPエッチングでは困難であった原子層レベルのエッチング制御やダメージ低減において優位性を持つ。今後、ダメージやデバイス特性評価についても紹介していく。

<謝辞> 本稿に掲載しているSEM像は、名古屋大学様からご提供いただいたサンプルを使用しています。心より感謝申し上げます。

- 1) Keren J. Kanarik, et al., "Overview of atomic layer etching in the semiconductor industry" Journal of Vacuum Science & Technology A 33, 020802 (2015)
- 2) Satish D. Athavale, et al., "Realization of atomic layer etching of silicon" J. Vac. Sci. Technol. B 14(6), Nov/Dec 1996
- 3) Xia Sang et al., 2020, "Physical and chemical effects in directional Atomic Layer Etching" Journal of Physics D: Applied Physics
- 4) J.W. Daulton, et al., "Selectivity Control in AlGaIn/GaN Atomic Layer Etching" AVS ALE Workshop 2015
- 5) Sonam D. Sherpa et al., "Quasi-atomic layer etching of silicon nitride", Journal of Vacuum Science & Technology A 35, 01A102 (2017)



(a) 100 nmトレッチ幅



(b) 200 nmトレッチ幅

図3. トレンチ幅の異なるGaN/AlGaInのALEエッチング SEM像

