samco NOW

2019.Jul.
Quarterly VOL.106

Information 2
- サムコ設立40周年のご挨拶
- SEMICON West 2019 出展のお知らせ

Samco-Interview 3
大阪大学 大学院工学研究科 精密科学・応用物理学専攻
栄誉教授　荻 博次 先生

A la carte 京の銘菓・老舗18　半兵衛麩 5

Technical-Report 6
トレンチMOSFETのゲート形成に必要な
成膜技術の紹介

京都五山送り火（船形）　8月16日 ／ 撮影 ⓒ 中田 昭

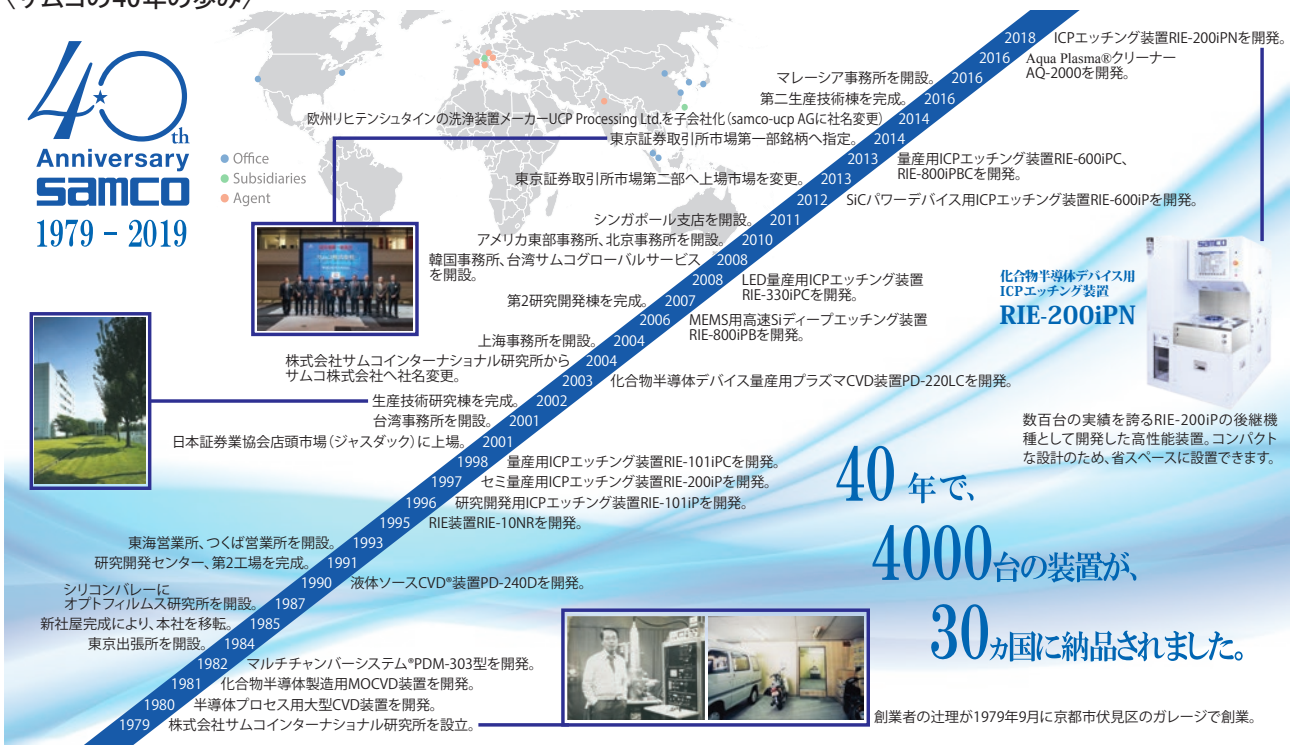
サムコ設立40周年のご挨拶

おかげさまで当社は本年9月に昭和54年（1979年）の会社設立から40年を迎えます。京都市伏見区のガレージでの創業以来、約4,000台の装置を30ヵ国以上に納入し、高い評価を頂いてまいりました。これもひとえに皆様のご支援、ご愛顧の賜物と心より感謝申しあげます。コアテクノロジーである『薄膜技術』の強みを活かして、さらなる成長を続け、企業価値の最大化を図っていく所存でございます。今後とも一層のご支援を賜りますよう心からお願い申しあげます。

下記アドレスの当社ホームページに設立40周年記念動画を掲載しておりますので、ぜひご覧ください。

当社ホームページ https://www.samco.co.jp/

〈サムコの40年の歩み〉



SEMICON West 2019　出展のお知らせ

会　　期	2019年7月9日（火）～11日（木）
会　　場	Moscone Center, San Francisco, CA, USA
ブースNo.	942

SEMICON® WEST BEYOND SMART

来る7月9日から11日までの3日間、『SEMICON West 2019』が“BEYOND SMART”をテーマに米国サンフランシスコのモスコーニセンターで開催されます。

次世代ICPエッチング装置『RIE-200iPN』やSiディープエッチング装置、ALD装置、プラズマCVD装置、Aqua Plasma®クリーナーなどの装置およびSiCパワーデバイスやGaNパワーデバイス、マイクロLED、GaAs VCSEL、InPレーザ、MEMSなどの最新のソリューションを紹介しますので、皆様ご来場くださいますようお願い申しあげます。

表紙写真 ● 京の晩夏を照らす「京都五山送り火」（写真は船形）　8月16日

五山の送り火は祇園祭と並んで京の夏を代表する催事の一つである。ご先祖の霊をお送りする精霊送りの意味を持つお盆の行事だ。毎年8月16日に、京都市内を囲む五つの山に、「大文字」「妙法」「船形」「左大文字」「鳥居形」の順に点灯。この「船形」はほぼ南の方角を向いており、舟の舳先は西方浄土を指しているといわれ、帆柱だけでも93mもある大きな送り火である。更に、送り火終了後は、保存会の六斎念仏を麓の西方寺で見ることができ貴重な体験を味わえます。

プロフィール

1967年生まれ

学　歴　1991年　大阪大学 基礎工学部 機械工学科 卒業
1993年　大阪大学 大学院基礎工学研究科 物理系専攻　修士課程　修了
1997年　工学博士（大阪大学）

受賞歴　2012年　第9回日本学術振興会賞
2013年　大阪大学総長顕彰（研究部門）
など

職歴　1993年　大阪大学 大学院基礎工学研究科　助手
1998年　米国国立標準技術研究所　招聘研究員
2000年　大阪大学 大学院基礎工学研究科　助教授
2003年　大阪大学 大学院基礎工学研究科 機能創成専攻　助教授
2007年　大阪大学 大学院基礎工学研究科 機能創成専攻　准教授
2007年　科学技術振興機構さきがけ 研究員（兼務）　2011年まで
2017年　大阪大学 大学院工学研究科 精密科学・応用物理学専攻　教授・栄誉教授

大阪大学 大学院工学研究科 精密科学・応用物理学専攻　栄誉教授

荻（おぎ） 博次（ひろつぐ） 先生

今回のSamco-Interviewは、大阪大学を訪ね、工学研究科 精密科学・応用物理学専攻の荻博次教授に音を使ったMEMSバイオセンサーのご研究についてお話を伺いました。

▶荻先生のご研究についてご紹介ください。

私は音を使った計測技術の研究をずっと続けております。今お話ししている声のような音の波長は数十cmから数mになりますが、光の波長は、例えば緑では500nm程度と短いため、何を計測するにも音よりも光の方が精密であるといわれてきました。我々は光と同じあるいはそれを大きく下回るような波長の音を扱っており、このような短波長域では、光では見ることができなかった観察が可能になります。音には原子を直接振動させることができるといった光にはない多くの特徴があり、これらを利用した医療への応用や物性研究を続けております。可視光の波長は380nmから760nmですので、ナノというよりむしろサブミクロンになります。これに対して我々が扱っている音の波長は、短い場合では10nm程度であり、しかも音であるため物質の中に入り込むことができます。光は不透明な物質の奥深くに入ることができません。人体に入ることができるといった音の利点を活かして物性研究や医療計測、バイオセンサーなどに応用する研究に取り組んでおります。

▶ご研究を始められたきっかけと現在に至る経緯についてご説明ください。

私は学部の4年生の頃、プラズマ流体を研究しておりました。その数年前に利根川進先生がノーベル生理学・医学賞を受賞されましたが、その際、「4年生から大学院に進む際に同じ研究室にいる必要は全くない。1年間必死で勉強すれば、その先生から習うことはもうない。」というようなことをおっしゃっていました。「そうなんだ」と思って1年間真剣に勉強し、プラズマ流体の研究室で卒業論文を出し、次は少し違った研究をすることにしました。固体力学に興味がありましたので、超音波の研究室に移り、超音波を使った物性計測を研究することにしました。

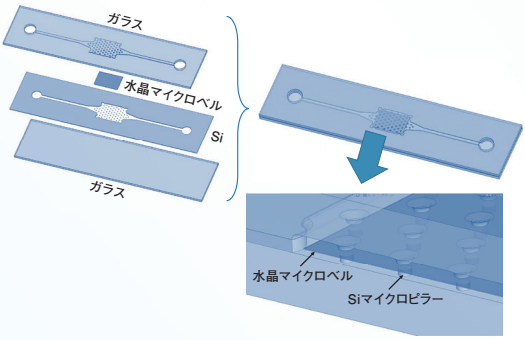
超音波で物質を計測する場合、波長が物差しの目盛の役割を果たします。波長が短ければ短いほど正確な計測が可能となりますので、これをどんどん短くしていかなければなりません。また、一般的に音による計測は、光とは異なって接触測定になります。真空中で鳴らした鐘の音は聞こえないため、普通は触って計測しますが、触ると鳴り響いている音が大きく乱れます。波長を短くするということと非接触で計測するという二点が課題となっておりましたので、我々は物質に電磁波を当て、非接触で音場を計測するという研究を始めました。電磁波で周波数を上げていくと光になり、レーザー超音波になります。非接触でレーザー光を照射し、それを音に変えていく研究を進めていきました。

音を使ったバイオセンサーは既に存在し、便利ではありましたが、計測が接触方式であるため感度に問題がありました。非接触での計測で精度が大きく改善することは分かっておりましたので、完全に非接触にして電磁波でマイクロベルを鳴り響かせるという技術を開発しました。光では見えないものをnmオーダーの波長の音を出して「見て聞く」ことができ、これまで検出できなかった薄い濃度の物質を検出できるようになりました。超音波、非接触、波長を短くするということを突き詰め、現在のレーザー超音波や電磁波発振のバイオセンサーなどの研究に至っております。

バイオセンサーは診断や創薬に利用されております。診断の場合では、人間ドックのオプションにあるバイオマーカーなどで使われております。我々が病気に罹ると、ごく初期の頃から特殊なタンパク質や核酸（RNA）などが体内に分泌されます。これらを早い段階で見つけることができれば早期発見につながるため非常に重要です。バイオマーカーの検診で特定の数値が高い場合に精密検査を勧められることがありますが、そういったものがバイオセンサーによる診断です。創薬では、疾患の原因タンパク質と高い親和性を示す物質を薬剤候補として探索する際に使われます。原因タンパク質に強く結合してその機能を低下させる薬剤の候補はおびただしい数があります。これらを絨毯爆撃式に作用させて結合するかどうかをスクリーニングしていきます。結合したからといって治療効果があるかどうかはまた別ですが、まず結合しなければ治療効果は望めません。そういったスクリーニングにもバイオセンサーは使われます。この場合、標的である原因タンパク質をセンサー内に固定化し、さまざまな候補薬剤を流して結合するか判定します。診断の場合も同じで、前立線ガンなどの原因タンパク質の抗体を固定化して血液や尿といった検体を流すと、病気の物質があれば結合します。結合していれば標的があると判断できます。

世の中には、物理・化学原理を利用したさまざまなバイオセンサーがあり、音響バイオセンサーもそれらの中の一つになります。音響バイオセンサーには、『すぐに結果が出る』、『他の多くの検査で必要な標的への目印の付加が不要』といった特徴があります。人間ドックなどでの血液検査の場合、結果が出てくるのは数日後か早くても数時間後になりますが、音響バイオセンサーはその場において10分程度で結果を出せる可能性を秘めております。原理はいたって簡単であり、水晶のマイクロベルの表面に原因タンパク質と結合する抗体を固定化します。そこに検体を流し、原因タンパク質があればベルの表面で捕捉されますので、ベルは少し重くなります。ベルは重くなると鳴り響く周波数が低くなります。例えば、寺院の鐘は非常に大きくて重いためゴーンと低い音が鳴りますが、小さなベルはチリンチリンと高い音で鳴ります。これほど大きな違いは出ませんが、音色が変われ

ば原因タンパク質が含まれていて陽性であることがわかります。検体を流して音色が変わるか判定するだけですので、10分か15分程度で結果が出ますが、従来の音響バイオセンサーには感度が悪いという欠点がありました。タンパク質やRNAは非常に軽いため、付着して音色が数学的には変わっても、実際の計測は非常に難しいレベルです。寺院の鐘が鳴っているときに蚊が止まったとしても、音色は変わっていないように感じるというようなことです。感度を上げるためには、マイクロベル自体を軽くしなければなりません。軽ければ軽いほど、付着物が相対的に重くなりますので、感度は上がります。食品用ラップフィルムのような軽いベルがリンリン鳴り響いているところに蚊が止まると、それなりに影響を受けるということです。しかし、ベルを軽くするためにその面積を半分にすれば、質量が半分になって軽くなりますが、上に付着する標的の量も減りますので全く意味がありません。反応面積を維持したまま軽くするためにはマイクロベルを薄くするしかありません。薄くすれば薄くするほど音響バイオセンサーは感度が飛躍的に上がりますが、今まではそれができませんでした。水晶の圧電効果を利用してマイクロベルを鳴り響かせるため、マイクロベルの上下に貴金属の電極を成膜し、そこに物理的に配線を接続して振動電場を与えて共振させていたからです。通常、マイクロベルには安くて軽いという理由で水晶が使われますが、その電極には非常に重い貴金属が使われていました。そのため、非常に軽いタンパク質を量るセンサーの感度を上げることができませんでした。そこで我々は、貴金属の電極や配線を全部取り払った裸の状態の水晶をマイクロ流路に閉じ込め、私が以前から研究していた電磁波を使って発振させるという技術を使い、非接触で鳴り響かせるということを始めました。バイオセンサーのマイクロ流路の中に閉じ込められたマイクロベルを配線もなく完全に孤立させ、外側からアンテナで鳴り響かせてその共振周波数を測る無線無電極圧電振動子センサーを発明しました。バイオセンサーやガスセンサーなどに応用して非常に高感度であることを確認し、発展させているのが現状です。



MEMS水晶振動子センサー

無線無電極圧電振動子センサーの原理を基盤とした『超高感度無線無電極MEMS水晶振動子センサーの開発』は、科学技術振興機構（JST）の平成28年度からの最先端研究基盤領域に採択されております。この研究ではドライエッチング技術が非常に重要であり、サムコさんとも共同研究を行っております。ガラスとシリコンの流路の中に閉じ込められたマイクロベルをマイクロピラーという非常に細い支持体で支えますが、マイクロベルを掴むとベルは鳴りやみますので、強固に掴まずに絶妙なギャップを作って封じ込めます。また、マイクロベルも薄いものでは1μmや2μmになり、これらの加工ではドライエッチングを必要とします。シリコンの溝の加工でも、精密にしようとするとドライエッチングが必要になります。

▶ MEMSバイオセンサーのご研究の展望についてお聞かせください。

MEMS技術を使うことで原理的にはマイクロベルをさらに薄型化でき、感度を上げることが可能です。これが実現すると、その場での病気の診断、呼気センサーに応用した呼気診断、ガスセンサーに応用した臭いのデジタル化、多チャンネル化による臭い成分の検出などでの革新的なセンシング要素技術となります。また、MEMS技術により大量に安価で作ることも可能です。このようなセンサーが健康・安心・安全な社会に多大に貢献していくことを期待しております。

▶ 日頃のご研究において心がけておられることはどのようなことでしょうか。

『独創性』、『新規性』、『意義』の三点です。一生懸命研究してよくできたと思っていても、すでに誰かに発表されていたら残念です。大学ですから特に役に立たなくても私はいいかとは思いますが、それなりに意義があればモチベーションも湧きますので、これも重要かと思います。これらの三点を意識しております。

▶ 座右の銘をお教えください。

『一日一生』です。数年前は非常に忙しい日々が続きました。しかし、充実感を持って毎日過ごしておりましたので、一日一生とはこういうことなのかなと思っていました。そういう心掛けでいようと思っております。

▶ 最後にサムコに対して一言お願いします。

私が知る範囲では、サムコさんのエッチング技術は飛び抜けているように思います。社員の方が自由に考えながら技術開発に取り組まれる社風のように感じており、そういう素晴らしい社風を維持していただければと思います。

お忙しいところ貴重なお時間を頂き、誠にありがとうございました。

京の銘菓・老舗 18

330年の遥かな時を暖簾に刻む半兵衛麩。「京麩」と呼べるのは生麩と焼麩を製造していた歴史から商標を取得しているこの老舗だけです。守り継ぐ味の匠の深き心を玉置半兵衛（辰次）会長に語っていただきました。

笹巻麩

麩は中国に渡った修行僧によって室町時代に日本に伝えられました。小麦粉に水を加えてこねることによって生じる粘弾性のある小麦たんぱく質（グルテン）を加工したのが生麩や焼麩です。当時は石臼で挽いた粗い「挽き割り小麦」を用いており、豆腐や湯葉と並ぶ貴重なたんぱく源として、寺院や宮中で食材として継承されていきます。ただし、往時の小麦の作付け量は少なく、高価なために、特別な時にのみ愛でられるものでした。これが時を経て、次第に懐石料理や法要の会食として広く町衆にも食されるようになり、茶会でも供されるようになります。茶聖と呼ばれた千利休が特に好んだのが「ふの焼」でした。晩年の茶会の内容を記述した『利休百会記』でも、最も多く用いています。「侘び」の極みの世界を象徴する菓子だったのです。

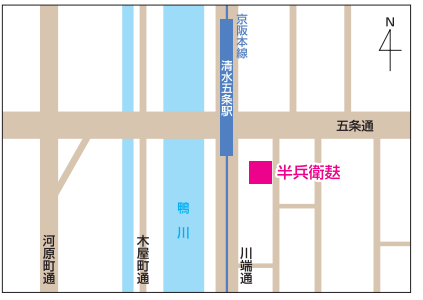
創業は江戸中期の元禄2（1689）年。京都御所の大膳亮（食事を司る職）を務めていた玉置半兵衛が稀少な食材であった麩の製法を学び、洛中で「萬屋半兵衛」として暖簾を掲げたのが始まりです。以来、名水と素材にこだわり、匠の技を磨き、伝統の味の極みを追い続けてきました。守り継ぐ家訓は「先義後利（せんぎこうり）」。正しい人の道を守り、商いによって得た利益を世の中のために使うという教えです。もう一つの訓戒である「不易流行」も代々厳守してきました。これらの根幹となっているのが石田梅岩が唱えた「石門心学」です。たとえば、三代目の三十郎は石田梅岩の弟子である杉浦宗恒に師事し、娘たちの名前にも「梅」「岩」を採っています。

半兵衛麩の品揃えは実に多彩でいずれも大人気。甘さ控えめのこし餡をもっちりとした生麩の生地で包み込み、香り立つ笹の葉で巻き上げた「笹巻麩（生麩まんじゅう）」も飛ぶように売れている定番商品です。早速、手に取って笹の葉を解くと艶々とした白い麩が現れます。ひんやりとした食感、すっきりとした喉ごしは、清涼感が恋しいこれからの季節にもぴったりです。また、半兵衛麩がプロデュースする麩スイーツ&カフェ「ふふふあん」では、登録商標「京麩」を使った多彩な和のオリジナルスイーツの数々も満喫できます。さらに本店2階には「お辨當箱（べんとうばこ）博物館」があり、歴史が映えるお弁当箱の数々を通じて日本の伝統的な食文化の世界に思いを馳せることができます。

ふふふあん

半兵衛麩

京都市東山区問屋町通り五条下ル上人町433
TEL 075-525-0008
営業時間　販売 9:00〜17:00



トレンチMOSFETのゲート形成に必要な成膜技術の紹介

【サムコ(株) 基盤技術研究所】

■はじめに

炭化ケイ素（SiC）や窒化ガリウム（GaN）は、その物性からパワーデバイス市場においてSiに代わりうる材料として期待されている。SiCに関しては、昇華法の発展によりSiC基板の入手が容易になったことからSBDやMOSFET等のデバイス開発が加速し、モジュール化も進められている。MOSFETでは、低損失化を目的にさらなる低オン抵抗化、高耐圧化に向けた開発が行われている。特にトレンチMOSFETは一部で実用化されており、SJ-MOSFETやIGBT等の研究開発が行われている。GaNに関しては、今後数年以内にNaフラックス法等の進歩によりGaN基板の入手が容易になり、かつイオン注入等によるp・nタイプの生産が可能になり、実用化が加速すると予測している。いずれの材料においてもトレンチゲートが重要であり、トレンチ加工、ゲート酸化膜形成および電極形成は必須の要素技術である。当社はこれまでSiC、GaNのトレンチ加工技術に関する取り組みを続けている。[1,2] ここでは高耐圧化のためのトレンチ部へのゲート酸化膜の成膜およびゲート電極としてのタングステンの成膜について紹介する。

■トレンチ構造に適したゲート酸化膜の成膜と評価

SiC、GaN系のトレンチ MOSFETでは、逆バイアス印加時にトレンチ底面角部のゲート酸化膜に電界が集中し破壊するという課題がある。一般的には、トレンチ底部をラウンド形状にすることにより電界集中を緩和している。当社では、この課題を解決する方法としてトレンチ側壁（MOSゲート部、SiO_2：～50nm）の膜厚は薄く、トレンチ底面の膜厚は厚くした酸化膜を形成することを提案する。当社のカソードカップリングタイプのPECVDによるSiO_2成膜では、トレンチ側壁より底面の膜厚を厚くすることが可能である。つまり、酸化膜の耐圧を利用するこの方法によりデバイスの高耐圧化を実現できる。しかし、プラズマがSiC表面に与える影響（一般的にプラズマダメージ）によって界面準位密度が高くなる懸念がある。そこでSiO_2 ／ SiC界面に関しては、低界面準位、低オン抵抗を達成すべく新しいAtomic Layer Deposition（ALD）を提案する。

当社では、ALDで成膜したSiO_2膜（ALD-SiO_2、プラズマレス）とPECVDで成膜したSiO_2（PECVD-SiO_2）の積層膜によるゲート酸化膜の形成を試みた。形成後アニールを行い、MOSキャパシタとトレンチ型SiC MOSFETを試作し、ゲート酸化膜の性能評価を行った。

積層膜によるゲート酸化膜は、デバイスとの界面にALD-SiO_2膜（SAMCO AL-1使用）をトレンチ側面に20nm、その上にPECVD-SiO_2膜（SAMCO PD-270STL使用）を30nmの合計50nm成膜した。また、比較のためPECVD-SiO_2膜のみでトレンチ側面に50nm成膜したゲート酸化膜を作製した。トレンチ底面の厚さは、ALD-SiO_2膜とPECVD-SiO_2膜の積層膜が138nm、PECVD-SiO_2膜のみが173nmであり、いずれも成膜後にポストアニールを行っている。

図1にTZDB法によるトレンチ型SiC MOS構造のゲート酸化膜の絶縁破壊電圧を示す。図1より算出したトレンチ側面のALD-SiO_2膜とPECVD-SiO_2膜の積層膜とPECVD-SiO_2膜のみのそれぞれの絶縁破壊強度は11.2 MV/cmと10.0 MV/cmであった。また、図2にオフ状態でのトレンチ型SiC MOSFETの耐圧測定結果を示す。ALD-SiO_2膜とPECVD-SiO_2膜の積層膜は耐圧が1,500Vと良好な結果であり、トレンチ底面の酸化膜の膜厚が薄いにも関わらずPECVD-SiO_2膜の耐圧値1,300Vよりも優れた特性を示した。この結果から、ALD-SiO_2膜をPECVD-SiO_2膜とデバイス界面の間に成膜することで、界面準位密度が低減されたことが示唆される。

■熱CVDによる金属ゲート電極の形成

高融点金属であるタングステン（W）は、パワーデバイスのコンタクト電極として期待されている。また、タングステンは低抵抗でかつゲート酸化膜との界面での空乏化が発生しないためPoly-Siに比べて優れており、SiCやGaN系のパワー MOSFETのゲート電極としても期待されている。トレンチ構造への適用を検証するためにモノシランとWF_6およびH_2を用いた熱CVDによるタングステンの成膜を試みた。

プラズマCVD装置 SAMCO PD-220Lを熱CVD用に改造して成膜した。トレンチ幅の違う2種類のパターンに膜厚30 nm狙いでタングステンの成膜を行った。成膜結果を図3に示す。図3より、表面の凹凸が少ない滑らかな膜がカバレッジ性よく成膜できていることが確認できた。成膜時間を調整することでトレンチへの埋め込みも可能になると考えており、ゲート電極としてだけではなくコンタクト電極の形成にも応用できると考えている。

■おわりに

トレンチMOSFETのゲート形成に必要なゲート酸化膜の成膜と金属ゲート電極の成膜について新たな提案を行い、特性やカバレッジ性を確認した。また、当社ではSiCやGaN系のトレンチMOSFETの作製に必要不可欠なエッチングについても技術の蓄積があり、開発を行っている。

■参考文献
[1] Samco NOW vol.104 Technical-Report, 2019年1月
[2] Samco NOW vol.105 Technical-Report, 2019年4月

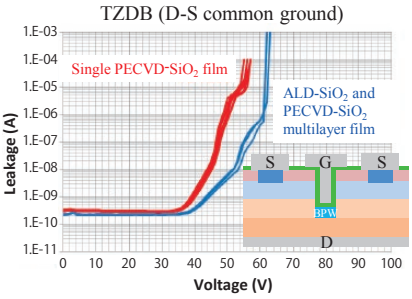


図1 2種類のゲート酸化膜の絶縁破壊電圧測定

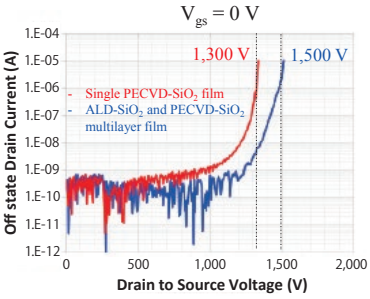


図2 オフ状態 (Vgs = 0 V) での トレンチ型SiC MOSFETの耐圧測定

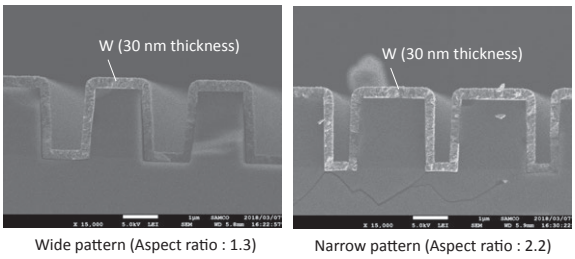


図3 トレンチ構造へのタングステンの成膜

サムコ株式会社 〒612-8443 京都市伏見区竹田藁屋町36
TEL 075-621-7841 FAX 075-621-0936 E-mail koho@samco.co.jp https://www.samco.co.jp/