samco NOW

2020.APR. Quarterly VOL.109

Information 2
- インド工科大学デリー校 Rao学長を表敬訪問
- IEEE MEMS 2020 (Vancouver) にて発表
- SEMICON China 2020 6月開催に延期

Samco-Interview 3
国立研究開発法人 理化学研究所
創発物性科学研究センター 副センター長
量子情報エレクトロニクス領域 領域長
量子機能システム研究グループ グループディレクター
樽茶 清悟 先生

À la carte 京の台所を訪ねて1 町家割烹「美先」 5

Technical-Report 6
2周波CVD装置によるTEOS-SiO_2膜の低温成膜

伏見十石舟 ／ 撮影 © 中田 昭

インド工科大学デリー校 Rao学長を表敬訪問

去る2月19日（水）、当社代表取締役会長の辻 理はインド工科大学デリー校（IIT Delhi）のV. Ramgopal Rao学長を表敬訪問いたしました。その際、太陽電池の研究用のプラズマCVD装置『PD-2S』（1985年納入）や光CVD装置『UVD-10』（1990年納入）が現在でも多くの研究者や学生に使用されており、これまで数多くの論文に研究機器として掲載されてきたことを伺いました。35年間にわたって安定して稼働し、今も現役でIITの研究活動を支えていることに対し、感謝の言葉を賜りました。

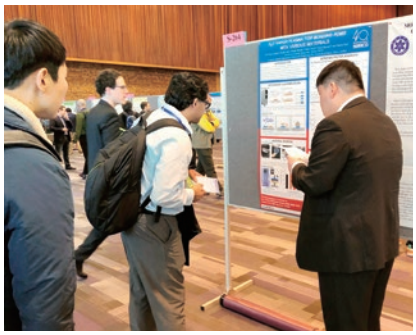
当社はIITデリー校のほかにもIITボンベイ校やIITルールキー校等のインド国内の主要大学・研究機関に多数の装置を納入し、インドの科学技術の発展に貢献しております。

IITデリー校 Rao学長（右）、当社会長（左）

プラズマCVD装置『PD-2S』とIITデリー校の研究者（左）、当社会長（右）

IEEE MEMS 2020（Vancouver）にて発表

1月18日（土）から22日（水）にカナダのバンクーバーで開催されたMEMS分野の国際会議であるIEEE MEMS 2020 (The 33rd International Conference on Micro Electro Mechanical Systems) において、“H_2O VAPOR PLASMA FOR BONDING PDMS WITH VARIOUS MATERIALS”というタイトルで、Aqua Plasma®クリーナーによるPDMS（ポリジメチルシロキサン）とさまざまな材料の接合技術を発表し、高い評価を頂きました。



ポスターセッションの様子

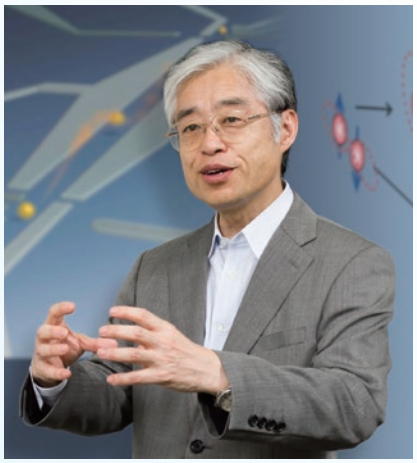
SEMICON China 2020　6月開催に延期

3月18日（水）から3日間、上海新国際博覧中心（SNIEC）において開催される予定でしたSEMICON China 2020は、新型コロナウイルス感染症の影響により、6月27日（土）から29日（月）までの3日間の開催へと延期になりました。

当社はSiCパワーデバイスやGaNパワーデバイス、マイクロLEDなど次世代デバイス向けのICPエッチング装置やALD装置、プラズマCVD装置、ドライ洗浄装置などを紹介する予定です。

表紙写真 ● 春風と港町伏見を楽しむ「十石舟」　3月20日から

豊富な水に恵まれた日本有数の酒処「伏見」。悠久の昔より水運の拠点として栄え、明治時代まで多くの十石舟や三十石舟が伏見～大阪を行き来していました。『伏見十石舟』は当時の運搬船を再現した屋形船で、酒蔵と柳並木に囲まれた風情ある伏見城の外堀を巡ります。春は川沿いに桜が咲き誇り、晩春から夏は清々しい青柳が見事な景色で、四季折々の季節を楽しませてくれます。



プロフィール

学　歴
- 1976年　東京大学 工学部 物理工学科 卒業
- 1978年　東京大学 大学院工学系研究科 修士課程　修了
- 1986年　東京大学工学博士

受賞歴
- 1998年　久保亮五記念賞
- 1998年　日本IBM科学賞
- 2000年　NTT先端技術総合研究所 研究開発賞
- 2001年　The Quantum Devices Award
- 2002年　仁科記念賞
- 2004年　紫綬褒章
- 2007年　江崎玲於奈賞
- 2008年　応用物理学会フェロー
- 2011年　英国物理学会フェロー
- 2018年　第18回応用物理学会業績賞

職　歴
- 1978年　日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所 基礎研究部（現 NTT基礎研究所）　研究員
- 1985年　日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所 基礎研究部　研究調査員（現 主任研究員）
- 1986年　マックスプランク固体研究所（独）　客員研究員
- 1989年　NTT基礎研究所　主幹研究員
- 1990年　NTT基礎研究所　研究グループリーダ
- 1994年　NTT基礎研究所　研究グループリーダ兼特別研究員
- 1995年　デルフト工科大学（蘭）　客員教授
- 1998年　東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻　教授
- 2004年　東京大学 大学院工学系研究科 物理工学専攻　教授
- 2012年　CNRSネール研究所、ジョセフ・フーリエ大学（仏）招聘教授
- 2013年　理化学研究所 創発物性科学研究センター 量子情報エレクトロニクス部門　部門長
- 理化学研究所 創発物性科学研究センター 量子機能システム研究グループ グループディレクター（現職）
- 2018年　理化学研究所 創発物性科学研究センター 副センター長（現職）

国立研究開発法人 理化学研究所 創発物性科学研究センター　副センター長
量子情報エレクトロニクス領域　領域長
量子機能システム研究グループ　グループディレクター

樽茶（たるちゃ） 清悟（せいご） 先生

今回のSamco-Interviewは、理化学研究所を訪ね、創発物性科学研究センター 副センター長の樽茶清悟先生に量子情報処理のご研究についてお話を伺いました。

▶ 樽茶先生のご研究についてご紹介ください。

現在は、半導体でできた量子ドットと呼ばれる非常に小さな電子の入れ物を使って、電子のスピンを量子力学的な情報単位とする量子コンピュータや、量子コンピュータのネットワークを作るためのフォトンとスピンの相互変換、トポロジカルな性質を持つ粒子を用いた新原理の量子コンピュータなどを研究しています。

▶ ご研究の現在に至る経緯についてご説明ください。

電子を1個ずつ蓄積できる量子ドットの研究は1994年に始めました。当時は量子ドットの中の電子を1個ずつ変えるという単一量子トンネル効果の実験が盛んに行われていました。その中で原子の中の電子と同じような性質を持つ半導体デバイスを作ることができないかと考え、1996年に円盤状の回転対称性を持つ微小な量子ドット（人工原子）の作製に世界で初めて成功しました。これを使って伝導電子を0個から1個ずつ正確に変えること、さらには原子に類似した量子力学的規則に従って電子のエネルギーやスピンの状態を高精度に制御することができるようになりました。電子の持っている量子力学的な性質や電子と電子の相互作用、それらに由来する量子現象をうまくコントロールできるようになり、その中で電子のスピンはとてもハンドリングしやすく、情報担体として優れているということが分かりました。これらの人工原子をベースにした量子力学的な実験や電子の性質の解明は、1998年から2004年までの科学技術振興機構（JST）の戦略的創造研究推進事業（ERATO）である『樽茶多体相関場プロジェクト』で行いました。ERATOプロジェクトの終了後には、その継続版として2005年から2010年まで国際共同研究事業（ICORP）で研究を進めました。このICORPを始めるにあたって、スピンを用いた量子コンピュータの理論提案（1998年）に刺激を受けて、人工原子を使ってこれを実現できるのではと考えました。1個の電子で最小単位の情報デバイスができないかということは、量子ドットの研究を始めた頃から考えていました。量子コンピュータへの応用には、電子スピンを高精度にコヒーレントに操作することが必要で、難しい実験であることは分かっていましたが、躊躇はありませんでした。そしてICORPでは、量子コンピュータを作るための情報単位である量子ビット、そのもつれ状態に関する基礎実験に成功し、それを基に10年ほど前に量子コンピュータの研究を本格化しました。

最初の時期は量子ドットをⅢ-Ⅴ族系の化合物半導体であるガリウムひ素（GaAs）で作っていましたが、この4～5年は量子ビットの集積化に適しているシリコン（Si）で作っています。

▶ 量子情報処理のご研究の展望についてお聞かせください。

現在、グーグルやIBM、インテルなどでは、大規模な投資による超伝導量子コンピュータの開発が進められていて、100ビット程度の動作が実現されています。しかし、量子コンピュータで技術革新を起こすにはまだ不十分で、10万ビットや100万ビットという桁違いの規模のものを作らなければなりません。また、ビット数が大きいだけではなく、計算の途中で起こるごくわずかな誤りを訂正する機能を持たせる必要があります。このような多数の量子ビットを今の方式の超伝導で作ろうとすると、ビット当たりの寸法が1mm^{2}くらいと大きいため全体で1m^{2}もの大きさが必要になります。また、超伝導は0.1K（ケルビン）以下という非常に低い温度でなければ安定して動作しません。現在の100ビットのものは1cm^{2}くらいの試料ですので、通常の冷凍機の収納スペース、冷却能力で賄えますが、ビット数が増えると難しくなります。

一方、我々が研究しているSiスピン量子コンピュータはビット当たりの面積が0.3μm^{2}くらいなので、1cm^{2}には1億ビットくらい入る計算になります。また、現在の実験は大抵の場合、超伝導と同じく極低温で行っていますが、Siの量子ビットは1K以上でもよく動作することが報告されています。これらの点においてSi量子コンピュータは魅力的です。Si量子コンピュータは遅れてスタートしたこともあってまだ数ビットの規模にとどまってい

ますが、これをさらに大規模化するにはSi集積化技術の導入が不可欠です。数十から100ビットくらいなら頑張れば我々でも作れるかと思いますが、100万ビットを作るには半導体デバイス製造の力が不可欠と思います。しかし、残念ながら現在の日本の産業にとって半導体デバイスは良い開発対象ではなくなってきています。日本の製造産業の人たちは量子コンピュータへの関心はあると思いますが、長期的な視野で開発をしていくだけの体力がなさそうに思います。

ところが海外では状況が違っていて、インテルやIBM、フランスのLETI、ベルギーのIMECといった半導体デバイスの製造機関が本格的にSi量子コンピュータの開発に参入しています。CMOSあるいはFinFETと呼ばれる薄型のトランジスタを使って量子コンピュータのプロトタイプを作ろうとする研究が進んでいます。私は、個人的には当面そういった機関とうまく連携して開発を進め、10年ほどで大規模化、さらには誤り訂正の実装に目途を付けることが重要と考えています。

量子情報技術は、言わば高精度、高感度、高速に量子の性質を操作し、計測するものであり、さまざまな応用の道があります。電子スピンで言えば、量子ビットの動作原理は磁気共鳴（MRI）と同じであり、測定の精度や感度をどのようにすれば上げられるかという技術面ではMRIに共通するところがあります。また物理としては、量子情報技術はミクロスコピックな電子、フォトン、フォノンといった個々の量子がマクロスコピックな物理現象の中でどのような役割を果たしているのかということを厳密に調べる技術を提供します。これらは、いずれも量子力学に立脚した原理や技術を基盤としていて、それをコンピュータの演算に使うか、物性測定に使うか、あるいはその背景を与える物理の解明に使うかという違いがあるだけです。この意味では、量子情報技術の研究は、ゆくゆくはコンピューティングへの応用だけでなくて、もっと広い範囲で役立つのではと考えています。

▶ 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？

心がけていることはいくつかあります。二択三択で迷った場合は一番難しそうなものを選択する、物理と工学の両方のセンスを大事にする、一つのことに固執せず、良さそうなことは積極的に取り入れるといったことです。また、実験を進める上で、他人の提案を簡単には信用しない、たとえ著名な先生の話でも、実験的には非現実的なことがよくあります。

また、特に若い人たちのアイデアをすぐには否定せず、まず良い点を探してなるべく奨励するというのも心がけていることの一つです。話が進展するようなディスカッションを行い、その中で良いアイデアが生まれてくることを期待することは、研究室や全体のレベルアップにもつながっていくと思っています。ほかには、若い人たちに刺激を与えられるベストな研究環境を提供するということも大事だと思っています。

▶ 座右の銘をお教えください。

『努力は必ず報われる』です。以前は単純に自分が努力すれば必ず成功に近づくと思っていましたが、この10年くらいは周囲の人、特に若い人の努力は必ず報われるようにしてあげなければいけないと思うようになりました。今私にとってこの言葉には、より良い研究環境を作るとか、できるだけ前向きに討論をするという意味も込められています。

▶ 休日などはどのようにお過ごしでしょうか？

平日と休日ではあまり変わりません。外国の論文を読んだり、自分たちの論文を添削したり、書類を書いたりしています。しかし、コンピュータだけに向き合っていると疲れますので、ボーっとテレビを見ていることもあります。毎週日曜日は、体調管理のためにエクササイズに通っています。体調が健全な状態でないと集中力を保ち難くなるので、能率が上がりません。体を鍛えるというより体調管理の一環としてエクササイズに励んでいます。そのほかには、散歩をしたり、家内の買い物について行ったりもします。体を動かしているとき、ぼんやりテレビを見ているときにアイデアが出てくることが意外と多いです。

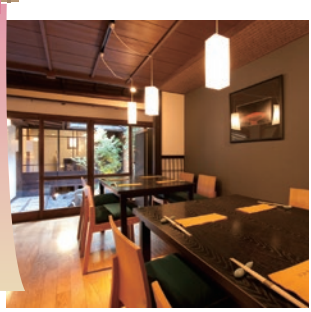
▶ 最後にサムコに対して一言お願いします。

サムコさんのエッチング装置は、東大でも理研でも使っておりますが、非常に信頼性が高くて安定しており、安心感があると好評です。量子コンピュータや量子力学的なデバイスを作るためにはさまざまな装置を使い、また普通とは違った使い方が必要になることもあります。ユーザーフレンドリーでフレキシビリティを持った装置を提供してもらえればと思います。

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。

京の台所を訪ねて 1

遥かな歴史と文化に磨かれた伝統と格式を重んじる京料理。その美味の数々を誰もが肩を凝らすことなく気さくに満喫できるお店を探訪する「京の台所を訪ねて」。新シリーズ初回は町家割烹「美先（みせん）」です。

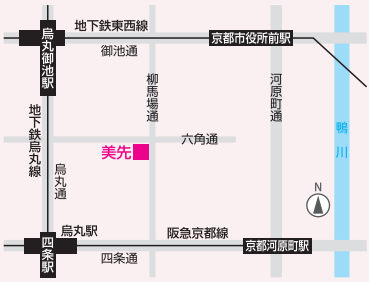


今日の柳馬場通りは平安京の頃には万里小路と呼ばれ、江戸時代を迎えても2つの通り名が併称されていたと伝えられています。これと六角堂の門前に由来する六角通りが交差する一角に暖簾を掲げているのが町家割烹「美先」です。京料理は大饗料理、精進料理、本膳料理、懐石料理、有職料理の総称であり、いずれも伝統と格式を重んじる日本料理として悠久の時を刻んできました。このような歴史と文化を背景に、大正の末期に京都で誕生したのが京割烹です。「割」は素材をさばくこと、「烹」はものを煮ることを意味し、誰もが気さくに旬味の極みを愛でることができるのが特徴であり、新たな食文化として広まって行きました。町家割烹の名が象徴するように、「美先」は築100年以上の京町家を改装した京情緒に満ちた店構えで、通りを行き交う人も足を止めてふり返ります。店内にはアンティークな灯りが点り、心地よい微風が流れる坪庭を臨む離れの個室（5〜8名）、町家ならではの快適な設えを活かした中2階屋根裏席（5〜10名）など風趣が映える個室やお席が和やかな語らいの時を彩ってくれます。女性客にも人気が高く、近隣のホテルのコンシェルジュの紹介で欧米なとの外人客も訪れるとか。親しい人々との会食、大切な方々をもてなす接客、特別な日の集いなど、使い勝手の良さも申し分なし。席数は38席です。

大島純次料理長は京都生まれ。何よりも料理が好きで、関西の高級料理店で修業を重ねてきた京料理一筋15年の味の匠です。京割烹には素材の吟味を第一とする「割主烹従」という言葉がありますが、大島料理長もまた山海の極みの旬の素材に深くこだわります。例えば、京野菜。山紫水明の恵まれた風土の中で育まれてきた京都の伝統野菜は「美先」の料理に欠かせない大地の息吹きを感じさせる食材です。選りすぐった京湯葉のほのかに広がる甘みも絶品。鮮魚も京都の近海で獲れる四季の旬魚を日々厳選し、腕によりをかけて供しています。献立の多彩さ、リーズナブルなお値段も大好評です。お昼は平日限定の湯葉丼定食、お魚膳、平日も土日祝も満喫できるお造里御膳、丹波黒和牛を用いた牛鍋御膳、土日祝限定の京湯葉づくし御膳、湯豆富懐石御膳、町家割烹の昼御膳。夜は前菜、造里、焼肴、強肴、留肴、食事、水物が堪能できる当日おまかせコース、特別おもてなしコースとして蕗（ふき）と蕨（わらび）などがあります。「風情ある京町家のお席で、肩を凝らすことなく、京料理を楽しく味わい、心で感じて欲しい。こだわりをお客様と共有し、さらに深めたいと願っています」。大島料理長の優しい微笑みや思いを込めた言葉にも「美先」の細やかなおもてなしの心を感じました。

町家割烹「美先」

京都市中京区柳馬場六角下ル井筒屋町404
TEL 075-744-0735
営業時間 ［昼の部］11:30〜14:30
［夜の部］17:30〜22:00
定 休 日 月曜日（月曜日が祭日の場合は火曜日）



2周波CVD装置によるTEOS-SiO_2膜の低温成膜

【サムコ㈱ 開発部 CVDグループ】

1. はじめに

当社は創業時よりプラズマCVD装置の開発及びプロセスの提供を行ってきた。近年、このプラズマCVDにおいて、一般的なSiH_4を用いるSiO_2成膜技術に加え、より安全性を考慮した液体原料を用いるプラズマCVD技術（LS-CVD®）に取り組んできた。さらに13.56MHzと400kHzの二つの周波数を組み合わせることで、これらの成膜技術を進展させ、化合物半導体市場に貢献している。本稿では、この2周波CVD技術とLS-CVD技術によるSiO_2成膜データの中から、要求が増加している低温成膜時(150 ～ 210℃)の膜質について紹介する。

2. 装置構成

SiO_2成膜は当社デモ機「PD-220L」を用いて行った。図1に装置構成を示す。上部電極に13.56MHz、400kHzの各電源と整合器を接続し、これら二つの周波数を重畳してプラズマを発生させている。

なお、このデモ機の反応室は弊社のアノードカップリング方式を用いたCVD装置である「PD-220シリーズ」と同構造であり、今回紹介する内容は、「PD-220シリーズ」のオプションである400kHzを追加した装置仕様により得られたデータである。

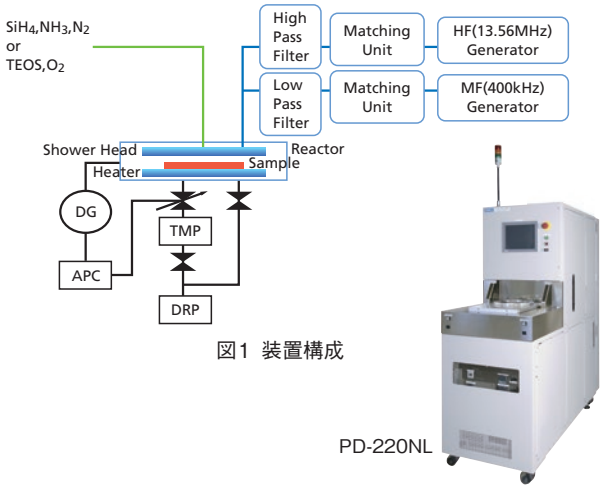


図1 装置構成

3. 2周波CVD技術によるTEOS-SiO_2膜の低温成膜データ

図2 ～図5に2周波CVD装置で液体原料のTEOSを用いて成膜したSiO_2膜の成膜速度、応力、屈折率、及び膜厚均一性に対する成膜温度依存性を示す。他の成膜条件に関しては、13.56MHz：400kHzのパワー比は1：1.25、反応ガス流量、成膜圧力等は一定とした。

従来、アノードカップリング方式にて13.56MHzのみ、かつ200℃程度の低温にてTEOS-SiO_2膜の成膜を行う場合、高成膜レートを得ようとすると応力の経時変化が問題であった。応力の経時変化を抑えるには、①成膜速度；20nm/min以下、②応力；-200 MPa以上（圧縮）の双方を満たすようにSiO_2成膜条件を調整する必要があった。これに対し13.56MHzと400kHzを重畳する2周波CVD技術を用いることで、成膜温度が150～ 210℃と低温でも成膜速度90nm/min以上、応力-100MPa（圧縮応力）以下のSiO_2膜を得ることができた。応力の経時変化も10MP a 以下に抑えることができており、膜中のダングリングボンド等が少ない安定した膜質のSiO_2膜が得られたと考えられる（図2、図3）。これは、低温成膜が求められる樹脂フィルム等への保護膜形成において、フィルムへの熱ダメージ、成膜後の形状変形を抑えつつ厚膜成膜が可能なことを示している。低温・低応力成膜は、半導体デバイス製造工程においてプラズマCVD成膜に求められる要件の一つである。また、屈折率の安定性も高いことから、光学的な用途への応用も可能である（図4）。膜厚についても非常に良い均一性が得られている（図5）。

以上、PD-220シリーズのオプション仕様である2周波CVD装置によるTEOS-SiO_2成膜において、低温成膜でも良質な膜質が得られることを示した。幅広い分野・市場への展開が期待できる。

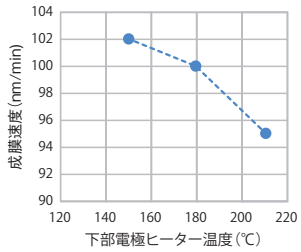


図2 成膜温度と成膜速度の関係

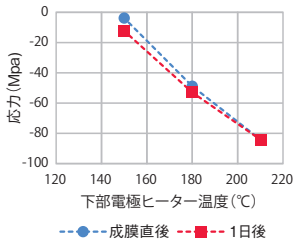


図3 成膜温度と応力の関係

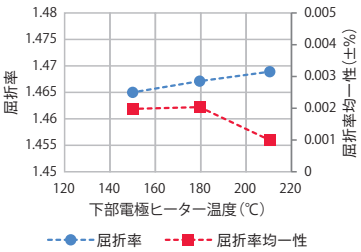


図4 成膜温度と屈折率及び屈折率均一性の関係

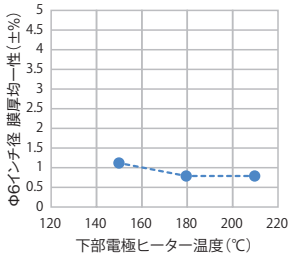


図5 成膜温度と膜厚均一性の関係

4. 終わりに

2周波CVDによるTEOS-SiO_2膜の成膜で、従来の13.56MHzのみでは困難であった低温域での低応力のSiO_2膜の高速成膜が可能となり、これまで適用が難しかった分野にも応用の可能性が広がったことを示した。今後も日々進化していく薄膜技術、応用分野の拡大に応えられるよう、プロセス及び装置の開発を進めていく。

[LS-CVD装置]
商標登録（サムコ）：液体原料を用いる気相成長装置

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/