

SAMCO NOW

VOL.128
2025 Jan. Quarterly

Samco-Interview — 2

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
先端半導体研究センター
新原理シリコンデバイス研究チーム 研究チーム長
未踏デバイス試作共用ライン (COLOMODE) リーダー
森 貴洋 先生

A la carte — 4

京の台所を訪ねて19 沸沙羅館

Information — 5

『先端技術開発棟』2025年春稼働
サムコ科学技術振興財団
第9回研究助成募集のお知らせ

Technical-Report — 6

700°Cの高温プラズマCVD装置
「PD-101TC」の紹介

冬景色の京に神聖『平安神宮』の静寂を見る
平安遷都1100年を記念して1895(明治28)年に創建された『平安神宮』。桓武天皇と孝明天皇を祀り、社殿を取り囲む庭園「平安神宮神苑」は名人七代目小川治兵衛の作庭で国指定文化財となっています。有名な雪の日の「金閣寺」にも劣らぬ、池泉回遊式庭園の美しさは格別。今なら130年祭事業の一環として、非公開の神域を「特別拝観」(令和7年12月29日迄)できます。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 先端半導体研究センター
新原理シリコンデバイス研究チーム 研究チーム長
未踏デバイス試作共用ライン (COLOMODE) リーダー

もり たかひろ
森 貴洋 様

今回の Interview は、国立研究開発法人 産業技術総合研究所を訪ね、森貴洋先生にシリコン量子ビット型量子コンピュータと集積化技術のご研究についてお話を伺いました。

略 歴	2001年	東北大学工学部応用物理学科 卒業
	2006年	東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻博士課程 修了 (博士 (工学))
	2006年 - 2009年	国立研究開発法人理化学研究所に勤務
	2009年 - 現在	国立研究開発法人産業技術総合研究所に勤務 現在、同先端半導体研究センター新原理シリコンデバイス研究チーム、研究チーム長 半導体量子技術および先端ロジックデバイス技術に関する研究開発に従事



「トランジスタの研究で培った集積化技術の知識と、過去に量子デバイスに触れていた経験から、シリコン量子ビットの研究に方向転換し、現在の研究に至っています。」

▶ 先生の現在のご研究について
ご紹介ください。

現在、私はシリコン量子ビットを用いた量子コンピュータのデバイス技術および集積化技術の研究に取り組んでいます。量子コンピュータは、従来のコンピュータとは全く異なる原理で動作する次世代の計算機です。その心臓部である量子ビットには、様々な方式があり、それぞれに特徴があります。市販されている量子コンピュータでは、超伝導、冷却原子、イオントラップといった方式が用いられています。これらの方式は、それぞれ異なる物理現象を利用して量子ビットを実現しています。

私が研究しているのは、半導体、シリコンを使った量子ビットです。シリコンは、従来のコンピュータの基幹部品であるトランジスタに使われている材料です。シリコンを用いた量子ビットは、既存の半導体製造技術との相性が良く、将来的に大規模な量子コンピュータを実現できる可能性を秘めています。量子ビットの実現方式には、他にも光を用いるなど様々な候補がありますが、どれが最適な方式なのかは、まだ明確にはなっていません。現状では、それぞれの方式に利点と欠点があり、研究開発が続けられています。

▶ 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紹介ください。

私が量子コンピュータの研究に触れたのは、約20年前に遡ります。当時、私はポスドクとして理化学研究所で研究をしていました。その頃に、量子デバイスに関わる機会があり、その面白さに惹かれました。それから、産業技術総合研究所に移動して、半導体トランジスタの研究をすることになりました。その後、2014年に理化学研究所当時に一緒に仕事していた研究者と、量子デバイスの研究を細々と始めたの

が、本格的に現在の研究をスタートさせたきっかけです。量子コンピュータの研究開発が盛んになるにつれて、私自身の研究ウェイトも大きくなっていき、2018年には量子デバイス関連のプロジェクトに参画しました。それ以来、量子デバイスの研究開発に専念しています。

学生時代は、どちらかという材料寄りの研究をしていたのですが、博士課程3年生の時に将来のコンピュータ技術について考える中で、量子コンピュータに出会いました。IT技術が発展し、情報化社会が加速する中で、コンピュータの進歩が止まるはずがない、その先のコンピュータはどうなるのだろう、という疑問を抱いていました。そして、様々な文献を調べる中で、量子コンピュータという新しい可能性を知り、理化学研究所の門を叩いたのです。しかし、当時はまだ量子コンピュータの研究は黎明期で、実用化にはほど遠い状況でした。そのため、一度は一般的なトランジスタの研究に戻りましたが、「いつか量子コンピュータの研究を」という気持ちは持ち続けていました。その後、量子コンピュータの研究開発が再び活性化し、シリコン量子ビットの重要性が高まる中で、私はこれまでの経験を活かせるのではないかと考えました。トランジスタの研究で培った集積化技術の知識と、過去に量子デバイスに触れていた経験から、シリコン量子ビットの研究に方向転換し、現在の研究に至っています。

〔指導教官の言葉〕

指導教官である八百隆文先生ひやおさかみの言葉は、今の私があるきっかけを作ってくれたと思っています。当時、卒業を控え、将来について悩んでいた私は、八百先生に相談しました。先生は、「私が君の年だったらね、今と同じことはやらないよ。もっと新しいことをやらなきゃ」とおっしゃりました。今ある技術に目を向けるだけでなく、未来を見据えて、新しいことに挑

戦する重要性を教えてくれたのです。その言葉が、私の心に深く響き、量子コンピュータの研究を志すきっかけになりました。

最近、先生にお会いする機会がありました。「そんなこと言ったっけな?」と笑っておられました。しかし、先生の言葉は当時の私に大きな影響を与え、研究者としての道を歩む上で、大切な指針となりました。

▶ ご研究の今後の展望について
お聞かせください。

量子コンピュータの実用化には、まだまだ多くの課題があります。現状では、超伝導方式で1,000量子ビット程度の集積が実現されているに過ぎません。量子コンピュータでは100万量子ビットというのが一つの目標となっています。100万量子ビットを達成するには、克服すべき技術的なハードルは高く、時間もかかるでしょう。それでも、量子コンピュータの未来を信じ、研究開発を続けることが重要です。私たちの研究チームは、100万量子ビットの実現を目指せる基盤技術を確認し、将来、誰もが使える量子コンピュータを世に送り出したいと考えています。その過程で、少しでも社会に貢献できれば、研究者としてこれ以上の喜びはありません。新しいコンピュータ技術の登場は、常に人類に夢と希望を与えてきました。コンピュータは、人類の技術発展の基盤であり、計算機なくして技術の進歩はあり得ません。そろばんから始まり、現代のスーパーコンピュータに至るまで、計算能力の向上は、常に技術革新の原動力となってきました。量子コンピュータは、従来のコンピュータとは全く異なる原理で動作する、まさに革新的な技術です。この研究に携わることができるのは、研究者として大きな喜びであり、責任を感じています。

〔シリコン量子ビットの高温動作〕

シリコン量子ビットの高温動作は量子コンピュータの小型化に不可欠な技術であり、重要な研究テーマの一つです。量子コンピュータは、現在、mK台^{*1}の極低温まで冷却する必要があるため、大型の希釈冷凍機が不可欠です。これ

に対し、量子ビットを高温で動作させることができれば、冷凍機を小型化することが可能となり、量子コンピュータの適用範囲を大きく広げることができます。高温といっても、一般的な高温とは違い、mKから数Kへと高くする程度ですが、これにより冷凍機を小型化したり、制御回路の設置場所を変えられるなどの利点があり、将来の集積化につながります。超伝導型量子ビットでは高温動作が難しいため、高温動作できる量子ビットはシリコン量子ビットのみとなります。「Hot Qubit (ホットキュービット)」とも呼ばれ、今、高い注目を集めています。これは技術的に非常に難しい課題ですが、量子コンピュータの小型化に向けて、重要な研究開発テーマです。

“個々の量子ビットの「特性ばらつき」を抑え、品質を均一にすることが非常に重要”

〔「特性ばらつき」を抑え、集積化技術につなげる〕

量子コンピュータの実用化には、多数の量子ビットを集積化する必要があります。集積化とは、単に多数の量子ビットを詰め込むだけでなく、それらを同時に、かつ正確に動作させることを意味します。例えば、私たちのスマートフォンには、10億個を超えるトランジスタが搭載されています。これらのトランジスタが正しく動作することで、スマートフォンは様々な機能を実現しています。量子コンピュータの場合も同様に、100万個を超える量子ビットを同時に、かつ正確に動作させる必要があります。そのためには、個々の量子ビットの「特性ばらつき」を抑え、品質を均一にすることが非常に重要です。

特性ばらつきとは、量子ビットの特性が設計値からばらつき、性能に影響を与えることです。特性ばらつきが大きすぎると、量子ビットが正常に動作せず、量子コンピュータ全体の性能が低下してしまいます。私たちは、集積化技術の研究開発において、特性ばらつきの抑制を最重要課題と捉えています。特性ばらつきを抑え込む技術を開発することで、高性能な量子コンピュータの実現を目指しています。

▶ 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。

20年近くサムコさんの装置とはお付き合いさせていただいています。基本的には、やはり使いやすいと感じています。他の装置と比較するのは難しいかもしれませんが、プロセスが非常に安定しており、信頼性が高い点が魅力です。

3年前に未踏デバイス試作共用ライン(Communal Fabrication Line for Outstanding Modern Devices;



COLOMODEのクリーンルーム内のサムコ製装置4台

COLOMODE; コロモデ)のクリーンルームを立ち上げた際には、サムコさんの装置を4台導入しました。研究においては、信頼できる装置が不可欠です。サムコさんの装置は、まさに研究の大事な相棒のような存在です。

プラズマCVD装置を2台(PD-2201LC)、エッチング装置を2台(RIE-400iPC、RIE-230LC)使用しています。CVD装置は、窒化膜や酸化膜などの絶縁膜やゲート電極としてポリシリコンの成膜に利用しています。

エッチング装置は、ICPとCCPの2種類あり、ICPは絶縁膜や半導体から、薄い膜に限ってゲート金属の加工に使用しています。CCPは配線工程の金属加工に使っています。

▶ 日頃のご研究において、心掛けておられることをお聞かせください。

研究現場では、安全確保が何よりも重要です。私たちは実験を行う上で、ガスや高圧ガスなど、危険な物質を扱います。そのため、安全には細心の注意を払っています。

それに加えて、「余裕」を生むことを重視しています。良いアイデアを生み出し、質の高い研究を行うためには、心にゆとりを持つことが重要です。プロジェクトの進行に追われ、プレッシャーを感じ続けるような状況では、創造的な発想は生まれません。本来、研究とは、ゆとりを持って新しいアイデアを考え、未来を創造していくものです。私は、管理職として、チームメンバー全員が余裕を持って研究に取り組めるような雰囲気づくりを心がけています。プレッシャーを感じることなく、自由な発想で研究に取り組める環境こそ、最高の成果を生み出すと信じています。

▶ 座右の銘をお教えてください。

特に好きなのは武田信玄の「人は城、人は石垣、人は堀^{*2}」という言葉です。管理職としてチームをまとめる立場として、この言葉は深く心に響きます。研究は、究極的には人によって行われるものです。研究者の能力はもちろん重要ですが、それだけでは十分ではありません。どんな人たちと、どのように協力していくのか。周囲の人たちと良い関係を築き、互いに協力し合うことで、より良い成果が生まれると思います。研究所には、学生、ポスドク、そ



インタビュー中の森様

してプロの研究者など、様々な立場の人がいます。それぞれが成長し、能力を発揮できるように環境を作るためには、一人ひとりの個性や能力を理解し、尊重することが大切です。私自身ではありません。だからこそ、常に周りの人たち

から学び、共に成長していきたいと考えています。人の心の力を信じ、大切にすること。それが、研究活動においても、人生においても、最も重要なことの一つではないでしょうか。

▶ 休日とはどのようにお過ごしでしょうか？

休日は、もっぱら子供と過ごす時間に充てています。子供と遊ぶことは何よりも楽しい時間であり、リフレッシュになっています。以前は、野球観戦やランニング、サイクリングなど、自分の趣味を楽しむ時間もありました。しかし、子供が生まれてからは、そういった時間はほとんど取れなくなってしまいました。それでも、子供と一緒に過ごす時間は、以前の趣味に勝るほどの充実感と喜びを与えてくれます。

▶ 最後にサムコに対して、一言お願いします。

サムコさんは、日本の半導体技術を支える重要な会社というイメージです。研究から生産まで、幅広い分野で活躍されていることに敬意を表します。特に、生産用の製造装置で培った技術を、研究開発の現場にも展開されている点が素晴らしいと思います。研究者にとって、高品質な装置は研究の成果を大きく左右する重要な要素です。サムコさんの装置は、まさに研究者のニーズを捉え、高い信頼性と性能を提供してくれています。

生産用と研究用の両方に力を入れているからこそ、高いレベルの要求にも応えられる装置を開発できているのだと思います。これからも、研究者に寄り添い、最先端の研究開発を支える装置を提供し続けてください。サムコさんの今後の発展を期待しています。

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。

*1 K(ケルビン) = C(セルシウス) + 273.15。
1 mKは-273.149℃の極低温となる。

*2 信玄の「国づくり」の理念は「人は城、人は石垣、人は堀、情けは味方、あだは敵なり」で、国全体が城であり、人の和こそ、まさに山河の険しさに匹敵すると信じた。事実、生涯を通じ、敵に甲斐の地を一步なりとも踏ませることはなかった。山梨県甲府市 Websiteより。

“サムコさんの装置は、まさに研究者のニーズを捉え、高い信頼性と性能を提供してくれています。生産用と研究用の両方に力を入れているからこそ、高いレベルの要求にも応えられる装置を開発できているのだと思います。”

京の台所を訪ねて 19

—《海外編6》—

タイ料理「沸沙羅館」は1990年に兵庫県芦屋で誕生し、約3年半後に現在地に移転しました。今年、創業35周年という記念すべき節目を迎える名店のオーナー、宇野克子さんがタイ料理の美味しさを教えてください。



スを自分の好みで掛けながら味を作って食べていくスタイルをとっているそうです。ただ、日本人は、そのやり方が分からないため、「どなたでも召し上げられることを基本とし、どのような料理かが見た目でも分かり、また美しく仕上げるようにしました」と宇野さん。日本人の嗜好に合わせ、本場の味や辛さを

木屋町通りでタイ国旗を掲げるお店が「沸沙羅館」です。建物は、昭和初期に建てられた京町家で、改装されています。かつての趣をそのまま漂わせ、部屋はすべて鴨川に面し、自宅にいるかのようにくつろぐお客様が絶えません。席数は50席で、2階の個室は30名まで利用できます。夏季は川床での食事を楽しめます。

厨房に立つのは、本場のタイ料理のお店で腕を磨き、活躍したタイ人シェフです。本格タイ料理を提供している同店は、タイ国政府商務省より5つ星評価の認定を受けています。タイの食材やスパイスなどをしっかり使用し、タイ国立食品研究所により「The Pride of Thailand」も受賞しています。

宮廷料理は、見た目が美しく、12種類ほどのスパイスが付いており、それらのスパイ

を少し柔らかくして調整しています。本場の辛さを好む人は、オーダーの際に「タイスタイルで」と伝えればよいそうです。

開業に至るまでを振り返り、「主人は、古物を集めるのが好きだった祖父の影響で美術品を収集するようになりました。会社に勤務していましたが、知人のホテル経営者からホテルをグレードアップするための相談を受け、またそれを任されたこともあり、後に美術商に転向しました」と宇野さん。芦屋市のテナントビルのオープニングに夫妻で招かれると、一軒だけ残る空き店舗に「エスニック店を入れたい」と聞かされました。「夫が“うちがやりましょうか”と言い、レストラン経営を始めることになりました」



宇野さんは、メニューづくりのため都市のタイ料理店を訪ね、タイにも渡りました。「タイ人シェフの面接を行い、料理を試食すると、すべて美味しく現地のシェフを招へいすることにしました」。しかしピザ発給が間に合わなかったためオープン当日シェフは来られず、タイ人シェフを臨時で雇いました。「私も調理を手伝い、そのときにタイ料理を覚えました。お客様の食べ残しの味見をしたりして、アレンジしました」と苦労の連続でした。

今ではタイ人シェフも日本人の嗜好を理解しており、京野菜もうまく取り入れていきます。同店のトムヤンクンは「タイより美味しい」と評判です。ちなみに、トムヤンクンには殺菌や抗酸化、健胃の作用などがあり、夏バテ防止や冬の風邪予防になります。

タイ料理は辛いというイメージがありますが、実際は周辺国の料理の良いところを取り入れているため、辛いものや甘いもの、酸っぱいものがあります。昼に人気があるのは6種のランチプレート(1,800円税込)です。ディナーは、最もリーズナブルなチェーンマイコース(6,600円税込)から用意されており、冬には、「タイすき鍋」「トムヤンクンとタイすきの二色鍋」「グリーンカレー鍋」(すべて4,800円税込)がディナーメニューに加わります。アラカルトメニューは昼・夜ともに用意されています。タイ料理に合う人気のワインも揃えています。夜には、90分の飲み放題が1名2,750円(税込)で4名から利用できます。

「一人鍋をご提供したいですね」と宇野さん。これまで70回ほどタイを訪ねており、今年も1、2回は渡航しています。「首都バンコクは大阪より都市です。タイ旅行にいかれるときは、ぜひ沸沙羅館へ。おすすめ料理などをお尋ねください」と笑顔を見せます。



鴨川の眺めがいい落ち着いた雰囲気店内。

沸沙羅館

京都市下京区木屋町通松原上ル美濃屋町173-1
 TEL 075-361-4535
 URL <http://www.bussarakan.com/>
 営業時間 ランチ 11:30~15:00 (ラストオーダー14:30)
 ディナー 17:00~22:30 (ラストオーダー21:30)
 定休日 水曜日 ※2月は店舗の改修などのため休業
 阪急京都線「京都河原町」駅 南1番出口より徒歩6分
 京阪本線「祇園四条」駅より徒歩7分



『先端技術開発棟』2025年春稼働

京都市伏見区に建設中の「先端技術開発棟」が2024年12月17日に完成しました。今後、設備工事やクリーンルームへの装置搬入を進め、2025年春からの本格稼働を予定しております。

■先端技術開発棟について

住所：京都市伏見区竹田田中宮町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。

構成：1階はクリーンルーム。2階は事務所。

計画：2024年12月17日完成、2025年春より稼働



建設中の『先端技術開発棟』の様子
2024年12月9日時点

サムコ科学技術振興財団 第9回研究助成募集のお知らせ

サムコ科学技術振興財団(理事長 辻 理)の2025年度 第9回研究助成金の募集要項が公開されました。本年も、大学等高等教育機関、公的研究機関にて薄膜・表面・界面に関する研究開発をされる45歳以下の若手研究者を対象に、1件200万円(7件程度)の助成を行う予定です。募集期間は2025年2月1日から3月15日までとなっております。

これからも薄膜材料分野における創造的な基礎研究を続ける全国の若手研究者に対する研究助成を続け、日本の科学技術の発展に貢献してまいります。

詳細は、財団ホームページをご参照ください。

掲載URL

<https://www.samco.co.jp/foundation/recruitment/>



第9回 サムコ科学技術振興財団

薄膜技術に関する 研究助成募集

研究領域 薄膜・表面・界面に関する研究分野で、下記の4領域を優先する

- ①材料科学 ②ライフサイエンス
- ③環境・エネルギー工学 ④プラズマ工学

助成金額及び件数 **1件200万円** (7件程度)

応募資格

- (1) 大学等高等教育機関、公的研究機関に属する者。
- (2) 所属長の推薦があり、所属機関長の承認を得ていること。
- (3) 募集期間締切時の年齢が、45歳以下の若手研究者。

募集期間 **2025年2月1日(土)～3月15日(土) 必着**

【選考結果は2025年7月末までに通知予定】

応募方法

財団所定の「研究助成申請書」を郵送及びE-mailの添付書類として申請してください。

募集要項・申請書類はこちらから ▶ www.samco.co.jp/foundation

事務局 一般財団法人 **サムコ科学技術振興財団**
 〒612-8443 京都市伏見区竹田轟屋町36番地サムコ株式会社内
 TEL:075-621-0711(代) FAX:075-621-0936 E-mail:samco-stf@samco.co.jp



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



700°Cの高温プラズマCVD装置「PD-101TC」の紹介

サムコ株 開発部

■ はじめに

プラズマCVD装置はもともと低温での成膜を目的として開発・発展してきた。しかし近年、研究開発のニーズの多様化に伴い、高温での成膜に対応できる装置が求められるようになってきている。当社は、 SiH_4 ガスを用いたSiN、 SiO_2 成膜技術に加え、安全性を重視した液体原料を用いる成膜技術LSCVD®を開発した。さらに、下部電極に高周波を印加し、イオン性活性種を利用することで厚膜を高速成膜する独自のカソード方式プラズマCVDは、光導波路や高周波フィルター分野で高い評価を得ている。今回、研究開発用の多様なニーズに応えるため、プラズマ成膜に加え、熱分解による成膜にも対応したプラズマCVD装置「PD-101TC」を開発した。本装置は700°Cまでのウェーハ表面温度を実現している。本稿では、PD-101TCの昇温性能について紹介する

■ 装置紹介

図1に外観写真を示す。PD-101TCは下部電極に高温ヒータを備えており、ウェーハ表面温度を700°C（ヒータ設定温度900°C）まで上げる事が可能である。本装置は真空カセット室とロボット搬送を有しており、3または4インチウェーハの直接搬送か、4インチのトレイ搬送を選択できる。



写真1 装置外観

■ 昇温性能

当社のプラズマCVD装置のヒータ温度は最大400°Cであるが、PD-101TCは特別なヒータを採用することで900°Cを超える温度設定が可能である。図1に従来ヒータとの昇温速度比較結果を示す。PD-101TCの昇温速度は従来ヒータの8倍となっている。図2に下部電極ヒータの設定温度とウェーハ表面の測定温度の比較を示す。ウェーハ表面温度はウェーハ端から5 mmの4点と中央の計5点を熱電対付きシリコンウェーハにて測定した。下部電極ヒータ設定温度とウェーハ表面温度には真空断熱層が存在するため約20%の温度差が生じるが、ヒータの設定温度に対して線形な変化を示しており、700°Cまでの任意のウェーハ表面温度に制御できる。表1に N_2 流量300 sccmでの下部電極ヒータ設定温度900°Cの温度分布を示す。100 Paでの到達温度は662.7°Cを示し、ウェーハ面内の温度分布は±5.2°C以下と良好な結果が得られている。

図3に下部電極ヒータ設定温度500°Cと800°CでのTEOS- SiO_2 成膜結果を示す。500°C成膜に対し、800°C成膜では、成膜レートが低下し屈折率は1.465に変化している。これは温度が与えるエネルギーにより、膜中の不純物やOH基等が低減し、結果として膜が緻密化されたためと考えられる。

■ おわりに

今回はPD-101TCの昇温性能を紹介した。本装置は昇温性能に加え、周波数変換や電極間隔の変更など多彩な機能を有する最先端研究用装置である。高度化、多様化する化合物半導体や電子部品分野のお客様の、高品質な薄膜形成、プロセス制御の精密化といったニーズに応えることができると確信している。今後も革新性の高い装置開発に取り組み、新たな価値創造につなげ、産業科学の発展に貢献していく。

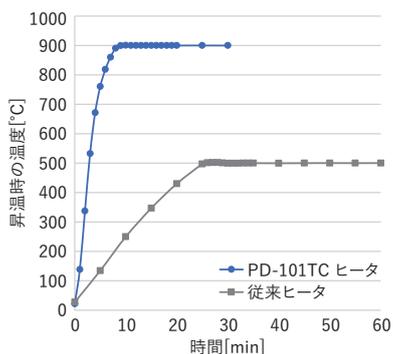


図1. 従来ヒータとの昇温速度比較

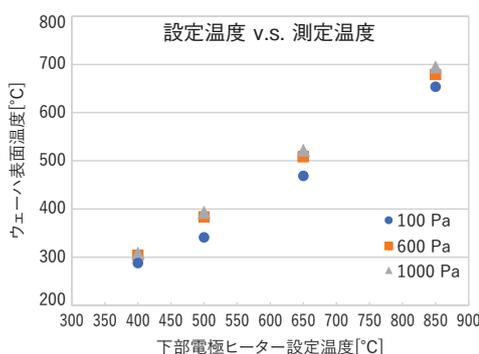


図2. 下部電極ヒータ設定温度に対するウェーハ表面温度

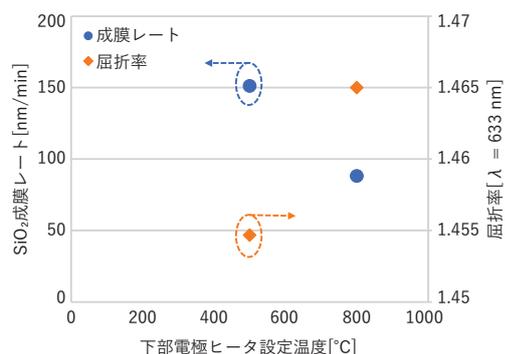


図3. 下部電極ヒータ設定温度500°Cと800°Cでの SiO_2 成膜結果比較

表1 下部電極ヒータ設定温度900°Cに対するウェーハ表面温度分布 (圧力100 Pa)

測定温度 [°C]	測定点					平均温度	温度差 [±]
	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4	Pos. 5		
	659.3	667.8	665.4	657.4	663.6	662.7	5.2

