

SAMCO NOW

VOL.120

2023. Jan. Quarterly

Samco-Interview — 2

東京大学 先端科学技術研究センター 教授

いわもと さとし
岩本 敏 先生

À la carte — 4

京の台所を訪ねて11 おおさか や てん 大阪屋こうじ店 三条神宮道

Information — 5

サムコ科学技術振興財団
第7回研究助成募集のお知らせ

Technical-Report — 6

マイナス150°Cを実現、クライオICPエッチング装置
「RIE-800iPLN」の紹介

新春の幸運は下鴨神社の丹塗矢から
世界遺産「下鴨神社」のご祭神である玉依媛命（たまよりひめのみこと）が鴨川で禊の際に、上流より流れ来た丹塗の矢を持ち帰り床に置いたところ懐妊し、賀茂別雷大神（かもわけいかづちのおおかみ）が誕生しました。この独自の神宿る伝承を持つ縁起物は神社を訪れる多くの人々に、昔から愛されています。1年のお守りにいかがでしょうか。

東京大学 先端科学技術研究センター 教授

いわもと さとし
岩本 敏 先生

今回のInterviewは、東京大学 先端科学技術研究センターを訪ね、岩本敏先生にトポロジカルフォトンクスなどのご研究についてお話を伺いました。

略歴 2002年 3月 東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 博士課程修了(工学博士)
2002年 9月 東京大学 生産技術研究所 助手
2003年 7月 東京大学 生産技術研究所 講師
2003年 9月 東京大学 先端科学技術研究センター 講師
2007年10月 東京大学 先端科学技術研究センター 准教授
2009年 4月 東京大学 生産技術研究所 准教授
2019年 4月 東京大学 生産技術研究所 教授
2019年 5月 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

受賞歴 2000年 応用物理学会講演奨励賞
2005年 International Conference on Solid State Devices and Materials Best Paper Award
2008年 電子情報通信学会エレクトロニクスサイエティ 活動功労表彰(2008年、2012年、2019年受賞)
2012年 文部科学大臣表彰若手科学者賞
2017年 APEX/JJAP Editorial Contribution Award(2017年、2020年受賞)
2018年 The 23rd Microoptics Conference, Best Paper Award(2018年、2019年(24th)受賞)
2020年 The 44th Laser Society of Japan / Distinguished Paper Award (Review Paper Section)(2020年、2021年(45th)受賞)
2021年 OSA Fellow(現OPTICA Fellow)選出
2022年 ドコモ・モバイル・サイエンス賞 基礎科学部門 優秀賞



“一方向にだけ光が進む導波路の実現は、我々が目指している非常にチャレンジングな研究です。”

▶先生の現在のご研究についてご紹介ください。

我々の研究室ではフォトニックナノ構造という、フォトニック結晶を中心とした微細構造による光の制御に関する研究を行っています。現在はその中で三つのテーマを中心に研究しています。まず、トポロジカルフォトンクス、次にダイヤモンドナノフォトンクス、そして量子ナノフォトンクスです。

トポロジカルフォトンクスは、光の制御、伝搬などについて、トポロジーという新しい考え方で捉えなおし、これまでない機能や応用を探求する試みです。光を含む電磁波の挙動はマクスウェル方程式で記述され、通信やオプトエレクトロニクスといった形で世の中に広く普及しているフォトニック技術はそれを基礎に発展してきました。ですが、電子回路のように小型な集積光回路に必要な光導波路にはまだ課題もあります。例えば構造欠陥や急に光導波路を曲げる際に、ロスが発生します。我々が力を入れているトポロジカルフォトンクスでは、トポロジーという概念をうまく使いこなすことで、仮に光導波路上に欠陥があっても、光が欠陥を感じることなく進行させることができます。また、ダイオードのように一方向にだけ光が進む光アイソレータの機能も小型な素子で実現できるかもしれません。一方向にだけ光が進む導波路の実現は、我々が目指している非常にチャレンジングな研究です。

ダイヤモンドナノフォトンクスは、Siや化合物半導体といった材料ではなく、ダイヤモンドを用いてフォトニック構造を作製し、光の制御を行う研究です。これは、内閣府が主導するムーンショット型研究開発制度の目標6、横浜国立大学 小坂英男教授がプロジェクトマネージャーを務める「量子計算網構築のための量子インターフェース開発」の

一部として取り組んでいるものです。ダイヤモンドナノフォトンクスの研究は海外では盛んですが、実は日本ではあまり進んでいません。我々が次回の学会で発表するのが、おそらく国内で初めてのダイヤモンドナノフォトンクスの論文ではないでしょうか。ようやくエアブリッジなどの中空構造が作製できるようになってきたところです。

最後に、量子ナノフォトンクスの研究です。さきほどのダイヤモンドナノフォトンクスとも関連するのですが、量子インターフェースの基盤技術開発などに関わる研究となります。例えば、小坂プロジェクトでは、量子コンピューターを別の量子コンピューターにつなぐため、超伝導量子ビットを、一度、光に変換する構想を描いています。量子ナノフォトンクスを発展させ、フォトニック結晶ナノ共振器などを用いてインターフェースとなるデバイスを開発していくのが我々のミッションとなります。将来どうなるか楽しみな夢のある技術かもしれません。

▶トポロジカルフォトンクスについて詳しくお聞かせください。

トポロジーとは“もの”の形を大局的に調べ理解する数学の一分野です。ボールとドーナツの例が有名で、ボールを連続的に変形していても、穴を開けるといって“不連続な”操作をしない限りドーナツに変形することはできません。この時、ボールとドーナツはトポロジカルに異なるといえます。物性物理の分野では、量子ホール効果のトポロジーに基づく理解を発端に量子スピンホール絶縁体やトポロジカル絶縁体などの新たな材料が見いだされています。これらの材料では、トポロジカルに異なる二つの構造が互いに接する境界(エッジ)において電子が一方向に流れます。これをトポロジカルエッジ状態といい

ます。このトポロジカルエッジ状態が、結晶中の電子と同様に、周期構造中を伝搬する光においても起こる可能性が、イギリス出身の物理学者ダンカン・ホールデン氏とその共著者によって2008年に初めて示されました。そして、その後2009年にMITがマイクロ波を使った実験でトポロジカルエッジ状態を実証しています。マイクロ波は周波数が低い分、磁場をかけると電磁波に対する応答が変化しやすい材料がいくつかあります。そのため、光に比ベトポロジカルエッジ状態を実現しやすい。しかし、最初にお話した、一方向のみに電磁波を伝送するトポロジカルエッジ状態を光で実現することは道半ばです。実現すれば欠陥があっても物理的に一方向にしか進まない小型の光アイソレータができることとなりますので、光導波路の高機能化、関連デバイスの小型化、集積化への道筋が見えてきます。この研究はとても野心的なテーマといえます。

ただ、一足飛びに研究は進みませんので、我々含め世界中で広く研究されているトポロジカルフォトンクスは、半導体だけで作製できる構造を用いたものです。その一つが、バレーフォニック結晶導波路になります。バレーフォニック結晶は、時間反転対称性をもつため、同じ界面で右に進む光と左に進む光が存在します。しかし、それでも急峻な曲げがあった場合、従来のフォトニック結晶より高効率な光伝搬が可能になります。Z型の急峻な曲げを含むバレーフォニック結晶導波路(図1)では、曲げ部分でもバレー間散乱が抑制され、良好な伝搬特性が得られました。

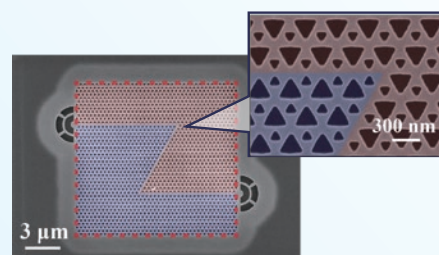


図1. バレーフォニック結晶導波路



駒場IIキャンパス 連携研究棟 クリーンルーム

▶ **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。**

私は、元々建築家になるつもりでした。実家が建築業を営んでいまして、子どものころから親を見ていて、なんとなく自分が継ぐものと思っていました。しかし、高校2年生の時の物理の川勝博先生の授業がきっかけで物理の道に進むことにしました。「川勝先生の物理授業」という本も出されている先生でした。どんな授業だったかという、まず実験的な題材があって、その実験結果を選択肢の中から予想させます。それから実験を行い、結果が出たところで、なぜそうなったかを後から解説する。そんな授業でした。

大学に入ったころは、光コンピューターや光情報処理というテーマが盛り上がっていて、光の分野の研究室に入ったのが現在の研究につながってきます。博士の時は、黒田・志村研究室で半導体の非線形光学の研究をしていました。その際に、荒川先生の研究室の装置を使わせていただいてサンプルを作製していました。自分で素子を設計、作製、評価、解析するという経験ができたのは大変良かったと思います。卒業後は、ご縁があって荒川先生の研究室に助手として入れていただいて、フォトニック結晶の研究を本格的に始めることになります。

トポロジカルフォトニクスのことは、2008年の論文で発表されてから、気になってはいました。そんな中、京都工芸繊維大の高橋駿先生が、まだ荒川・岩本研究室に在籍していたときにカイラルフォトニック結晶という螺旋状の三次元フォトニック結晶の研究をしていました。彼が2016年のある学会で、トポロジカル物理で大変著名な筑波大学の初貝先生の研究室の学生さんが同じような光のカイラル構造にトポロジカルエッジ状態が発現するという発表を聞いて議論を始めてくれました。それをきっかけに共同研究が始まりました。初貝先生とは今でも一緒に研究をさせていただいています。また、ほぼ同じ時期にそれとは別に、音波を扱うフォノニック結晶という

分野で、弾性波に対してトポロジカルな効果を使う研究も行っていました。今でもフォノニック結晶の先生と議論したりしています。そういった出会いが積み重なり、トポロジカルフォトニクスの研究を始めるに至りました。

フォトニクスや材料科学を縦軸とすると、トポロジーというのは横軸のようなものだと思います。フォトニクスをトポロジーという横軸から見ると、他の分野と共通する概念があります。そのため、トポロジカルフォトニクスの研究を始めてから、分野融合的な共同研究や物理の先生がたとの連携も広がってきました。我々はトポロジーという概念で、フォトニクスを進展させようとしていますが、フォトニクスで実現した新しい現象が、異なる分野で新しいアプリケーションを生み出すかもしれません。ここもトポロジーという研究を行うおもしろいところと感じています。

“**InP系のフォトニック結晶のプロセスで大活躍しています。**”

▶ **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。**

サムコさんの装置は古くは1999年に導入されたICPエッチング装置RIE-101iPから、2023年に納入されるプラズマCVD装置まで多数使わせてもらっています。2021年に購入したICPエッチング装置RIE-400iPは、下部電極を200℃まで加熱できる仕様にしていて、ダイヤモンドフォトニック結晶(図2)や、トポロジカルフォトニクスでもInP系のフォトニック結晶のプロセスで大活躍しています。新しい装置は制御系も良くなっていて、いろいろな面でわかりやすくなっていますね。加えてサポートにも満足しています。荒川先生時代から使っているRIE-101iPのメンテナンスやケアをしてもらっていますし、壊れたときの対応も迅速と思います。また、技術の話をもっと相談できるのもいいところです。トータルで国内にこういったメーカーがあるのは我々研究者にとってありがたいことだと感じています。

▶ **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。**

一つは「Curiosity Driven (好奇心を原動力とする)」、我々の研究室はおもしろいと思ったことを考えてみよう、ということに大事にしています。もちろん、プロジェクトでターゲットが決まっています、それに向かった研究もありますが、ルールを進むだけでは学生にとっても面白くないだろうと思っています。また、私や誰かに言われたことを研究するのではなく、自分でストーリーや計画を立てて、失敗してもいいから取り組んでみるということを学生に勧めています。闇雲に進めればいいというよりは、尻込みしているなら試してみたらという感じでしょうか。バランスが難しいですが。

もう一つは、人のつながり、というのを大事にしています。いろいろ議論して楽しく考える

ため、なるべく学生の部屋に行くようにしたり、ご飯を一緒に行ったりを心がけています。岩本研究室を経て、学生たちが大きく羽ばたいてくれるのが一番いいことだと思うので、縁の下力持ちではないですが、彼らの成長を助けて少しでも後押ししてあげられればいいと思います。

最後に、学生たちとは、教員と学生の関係ではなく、研究者と研究者の関係で話したいと思っています。もちろん質問されれば教えることはあるわけですが、私が言うことだから絶対と彼らに思わないでほしいですし、また、学生さんが言うことに新しい知見もあるので、それは大事にしたい。さらに、博士を取る人には、少なくとも自分のテーマについては私より詳しくないと博士はとれないと言っています。やはり専門家ですからね。

▶ **座右の銘をお教えください。**

わずかな時間も無駄にしてはならないという意味の「一寸の光陰軽んずべからず」ということを日ごろから思っています。普段からこの言葉を使っているわけではないので、座右の銘とは言わないかもしれませんが、趣旨は合っています。時間は大事で、少しの時間も大事に過ごそうと考えています。また、休むというのも大切な時間の使い方、オンとオフというメリハリを大切に、ずっと研究だけにならないように心がけています。

▶ **休日にはどのようにお過ごしでしょうか？**

最近は忙しくて、週末もなかなか長い時間休みが取れていないのですが、私はウォーキングが好きで、週末に何kmも歩いたりします。あとサウナが好きです。時には、メールもほとんど見ない、完全にオフの日を作ってサウナに行きます。ウォーキングもサウナもその時は仕事のことを忘れて無になれるというか、良いリフレッシュになるので、そうすることが多いですね。

▶ **最後に弊社に対して、一言お願いします。**

我々の研究を支えていただいて、大変感謝をしていることを最初に申し上げたいですね。高い技術力で、日本の先端研究を支えていただいていると感じています。近年日本では、いろいろな場所で、基盤技術、基礎技術を持たない選択が進んでいるように感じます。ファウンダリーサービスなどが良い面もありますが、一方でローカルに培ってきた技術が失われることになりかねないと危惧しています。サムコさんには、基盤技術を生み出す装置メーカーとして、最新のプロセス技術を提供し続けていただきたいと期待しています。さらに言わしていただければ、その技術をオープンラボのような形で、どんな研究者でも使えるプラットフォームで運用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いただき、ありがとうございました。

“**高い技術力で、日本の先端研究を支えていただいていると感じています。**”

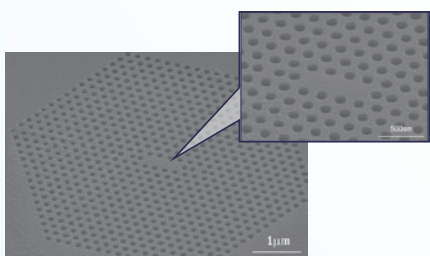


図2. ダイヤモンドフォトニック結晶構造

京の台所を訪ねて 11

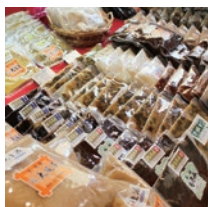
京都人の新年の朝食と言えば、「白味噌雑煮」。味噌材料専門店「大阪屋こうじ店」は京の老舗として、ミシュランガイドに載る料亭や、家庭の台所を力強く支えています。カフェスペースも設ける三条神宮道店を訪ねました。



年が明けると、平安神宮や八坂神社の参詣者が帰り道に列をなす光景が、三条神宮道店で見られます。「大阪屋こうじ店」の創業は寛永年間(1624~1644年)にまで遡ります。豊臣家の家来が「大坂夏の陣」の後に、京都・島原に逃れ、舞鶴に移り住んで「大阪屋」の屋号で餅屋を始めました。その後、麴(糀とも書く)も製造し、1804年に麴屋をもらい受けて分家し、「大阪屋こうじ店」を創業しました。9代目となるのが、代表を務める伊藤文則さんと、10代目の伊藤譲さん・由香さんご夫婦も製造と販売を担っています。

そもそも麴とは、麴菌を穀物に生やしたものです。本店がある舞鶴市は、昔から降水量が多く、湿度も高いなど、麴造りに適していました。同店では、国産米・天然水のみを使用し、イギリス積みの煉瓦室で、薦(藁の蓋)を使うという昔ながらの製法を守り、生麴を仕上げてきました。「四季のある日本で毎日、温度や湿度などを一定にしなければなりません。“作る”というよりも、風邪をひかせないよう赤ちゃんを“育てる”という感じですね」(以下、由香さん)。

生麴の水分を飛ばした乾燥麴は、常温で数ヵ月もたせることができます。生麴の場合は、麴菌が生きた状態にあるため、保存できるのは要冷蔵で1週間。それだけに風味がよく、これで味噌や甘酒を仕込むと、美味しく仕上がります。



京阪神からも生麴などを求めて来店するお客様が増えてき

たため2009年に三条神宮道店をオープン。甘酒の本当の美味しさを伝えようと、カフェスペースも備えました。

同店では京白味噌を使った雑煮を通年提供しています。麴で甘味とうま味を出しているのが特長で、2個の丸餅が入った雑煮は税込み660円。お正月の三が日に限っては、金時人参と里芋も入り、金粉入りの鰹節が天盛りにされた華やかな雑煮に変わります。

味噌汁定食では、一番人気の京合わせ味噌を含めて6種類の中から好みの味噌を選ぶことができ、舞鶴産サワラの西京焼きなども付きます。

スイーツも見逃せません。通販でのお薦めは、手作り味噌キット(完成1kg)です。

「イギリスでは乾燥麴しかないと聞きました。将来的に海外の方にも販売できればと思っています」。同店は連日のように活況を呈します。「赤味噌の美白効果が化学的に証明されたことなど、お客様から学ばせていただいています」。今年も麴の力が活かされます。

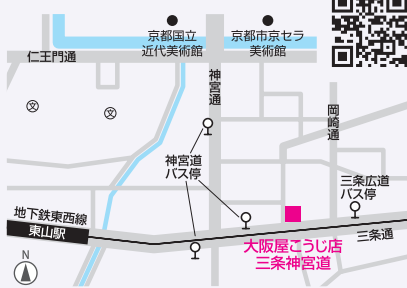


大阪屋こうじ店 三条神宮道

京都市東山区三条通神宮道東入中之町181
TEL 075-754-0250

URL <https://www.namakouji.com/>
営業時間 麴などの販売 11:00~17:00
麴カフェ 11:00~16:30
(ラストオーダー16:00)

定休日 月曜日



サムコ科学技術振興財団 第7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2023年度 第7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2023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7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 **2023年2月1日(水)～3月15日(水) 必着**
【選考結果は2023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



第6回 研究助成金贈呈式および記念講演
一般財団法人サムコ科学技術振興財団



事務局 一般財団法人 **サムコ科学技術振興財団**
〒612-8443 京都市伏見区竹田藁屋町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



マイナス150℃を実現、クライオICPエッチング装置「RIE-800iPLN」の紹介

【サムコ株ナノ薄膜開発センター】

はじめに

半導体の微細化、高積層化に伴って、エッチング技術におけるエッチングレート、アスペクト比、マスクとの選択比などの要求は高まり続けている。こういった要求に対しSiやSiNなどのエッチングレートを速め、マスクとの選択比を向上し、側壁に保護膜を形成し、高アスペクト比の異方性エッチングを実現する可能性があるとして、クライオエッチングが注目されている^{1,2)}。本稿では、新たに開発した、-150℃の極低温でのエッチングを可能とするクライオICPエッチング装置「RIE-800iPLN」について紹介する。



RIE-800iPLN

RIE-800iPLNの特徴

RIE-800iPLNは多くの販売実績があるICPエッチング装置「RIE-800iP」をベースとし、以下の3つの機構を搭載した装置である。

- ① 真空断熱構造を有する下部電極
 - ② 液体窒素供給系を用いた極低温冷却機構
 - ③ Hot-N₂供給系を用いた温調アシスト機能
- ① 下部電極は、極低温ラインの結露の影響を受けないよう、真空断熱構造を搭載した。通常の下部電極構造では、極低温下において大気中の水分が表面に結露し、大量の霜がついてしまう。そこで、RIE-800iPLNには真空断熱構造を有する下部電極を採用し、液体窒素を供給しても下部電極表面が結露しない構造とした。
 - ② 液体窒素供給系を用いた極低温冷却機構は、下部電極上のステージを-150℃の極低温とすることを可能としている。通常の下部電極の冷却には水冷チラーを用いているが、RIE-800iPLNでは-196℃の液体窒素を流して極低温を実現した。液体窒素の供給をPID制御方式で調整し、安定した極低温状態をコントロールしている。
 - ③ Hot-N₂供給系を用いた温調アシスト機能は、-150℃~-50℃の温度制御を実現する。-196℃の液体窒素の供給量の調整のみでは-150℃~-50℃近辺の温度域における制御が難しい。RIE-800iPLNでは下部電極に加熱したN₂を供給するラインを設け、液体窒素による冷却とHot-N₂による加熱の両方を制御することによって-150℃~-50℃の領域での温調を可能としている。

ウェハー冷却実験

RIE-800iPLNを用いた、下部電極および測温抵抗体付きウェハーの冷却実験の結果を紹介する。図1に極低温まで冷却した際のウェハー温度と下部電極温度の推移を示す。開始から30分以内に下部電極、ウェハー温度がいずれも-150℃以下となり、最終的にそれぞれ-179.5℃、-170.3℃まで冷却できることを確認した。面内の温度分布について、φ8インチウェハー面内5点にて測定したところ、比較的温度の高い領域では±15℃程度の分布が存在したが、-170℃付近では±3℃以下の良好な温度面内均一性が得られた。

次に、液体窒素とHot-N₂を併用して、極低温領域の温調機能の確認を行った。図2にHot-N₂の供給圧を0.02 MPa、温度を100℃として、-150℃~-25℃の領域で下部電極を温調したグラフを示す。液体窒素による冷却とHot-N₂による加熱のバランスを取ることで-150℃~-50℃の範囲で温調できることを確認した。-25℃での温調ではオーバーシュートから復帰するのに30分以上要することから、Hot-N₂の温度や供給圧を高める必要があると考えられる。

極低温エッチング結果

各ステージ温度における熱酸化膜のエッチングレートを測定するため、φ8インチ熱酸化膜付きSiウェハーにチップサンプルをグリッド貼り付けし、CHF₃によるエッチングを行った。サンプル裏面にはHe圧1,000 Paを供給し、下部電極の温度がサンプルに効率的に伝わるようにした。図3にエッチングレートを測定した結果を示す。-100℃で熱酸化膜のエッチングレートが30%以上高まっており、極低温によるエッチングレート向上を確認した。

まとめ

今回、-150℃まで冷却できるRIE-800iPLNを紹介した。ウェハー温度を-150℃まで冷却できること、-150℃~-50℃の範囲で温度制御できること、Siの熱酸化膜のエッチングにおいて、極低温ではエッチングレートの向上につながることを確認した。今後、化合物半導体分野に対する有効性について検討し、プロセスの開発を進める。

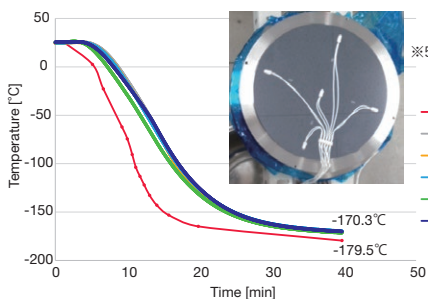


図1. 下部電極温度とウェハー温度

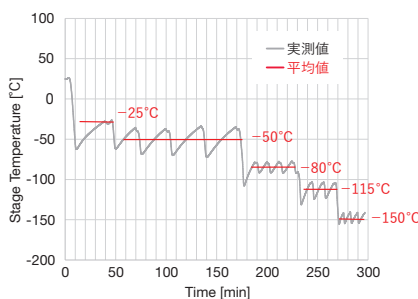


図2. 温度制御性

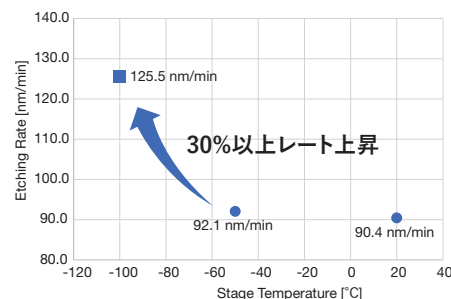


図3. 下部電極温度と熱酸化膜エッチングレート

参考文献

- 1) R.Dussart, T.Tillocher, P.Lefauchaux and M Boufnichel, J. Phys. D: Appl. Phys., 47, (2014) 123001.
- 2) B.Wu, A.Kumar, and S.Pamarthy, J. Appl. Phys., 108, (2010) 051101.

<謝辞>

本装置の製作にあたり多くのご助言をいただいた 関東電化工業株式会社様に感謝の意を申し上げます。

