

令和2年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「SiC および GaN ウェーハおよび薄膜中の
極微量金属不純物定量分析装置の開発」

研究開発成果等報告書

令和5年3月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 一般社団法人首都圏産業活性化協会

目次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標……………1ページ
- 1-2 研究体制……………4ページ
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1-3 成果概要……………4ページ
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口……………6ページ

第2章 本論-(1)

- 2-1 LA-ICP-MS 法の定量分析への対応……………7ページ
- 2-2 LA-ICP-MS 法を用いて大気雰囲気下でウェーハ試料直接分析への対応……………8ページ
- 2-3 LA-ICP-MS を用いた全自動装置化への対応……………9ページ

- 最終章 全体総括……………11ページ

第1章 研究開発の概要

SiC および GaN の半導体パワーデバイスは、高速通信分野および電気自動車で大きな市場として今後期待されている。しかしながら、これらデバイスの製造工程における金属不純物汚染管理に有効な金属分析方法が確立されていない。よって、レーザーアブレーション法(LA)と誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)を組み合わせた LA-ICP-MS 法により SiC および GaN 中の微量金属不純物を定量分析する全自動分析装置を開発する。

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

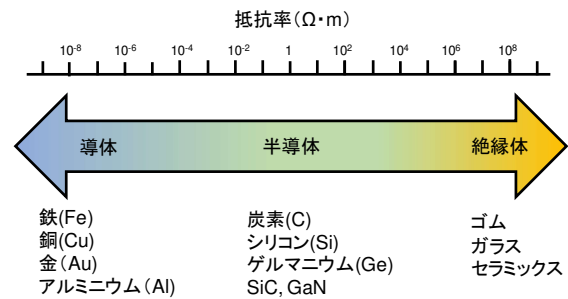
1-1-1 研究開発の背景

半導体は、現代社会において必要不可欠な部品であり、あらゆる電化製品・自動車・飛行機等に用いられている。半導体は、基本的には絶縁体であり、必要な条件のときに導体になる物質である。よって、金属(鉄、銅、金、アルミニウム等)は導体であり、それらが不純物として半導体中に含まれると絶縁破壊を起こし不良品となる。半導体回路間の線幅は、2000 年頃は 100 nm 位であったが、2010 年には

30 nm となり、最近では 10 nm 以下になってきている。回路幅が細くなるに連れて金属不純物管理濃度も低くなってきており、ウェーハ中濃度換算として $10^{10} \sim 10^{12}$ atoms/cm² から $10^6 \sim 10^8$ atoms/cm² となってきている。以前は、全反射蛍光 X 線分析装置(TRXF)がウェーハの前処理無しにそのまま分析できる非破壊分析法であることから、半導体工場の製造ラインにインライン分析装置として用いられてきた。しかしながら、浅い表面の分析

しかできないことと、分析感度が要求を満たせなくなった関係で、酸を用いてウェーハを前処理する技術(気相分解法、VPD 法)を用いてウェーハ全体の金属不純物を少量の溶液に回収し、その回収液を一か所に吐出してから乾燥濃縮することで分析感を改善する方法が用いられてきたが、非破壊分析法ではなくなってしまった。一方、誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS)を用いて分析する方法は、VPD 法で前処理して回収した溶液を ICP-MS でそのまま分析してより低濃度を簡単に精度良く分析できるため、半導体工場における金属不純物のインライン分析装置の主流となってきている。

現在の半導体では Si 基板をベースとした製品が加工のし易さから圧倒的に大きな市場であるが、自動運転、IoT、AI、5G 等の分野ではより省電力・高速通信に対応できる半導体が求められており、SiC および GaN を用いたパワー半導体と呼ばれるデバイスの市場が大きくなってきている。よって、SiC および GaN を用いた半導体の製造工程においても Si ベース半導体と同様に、金属不純物汚染管理の高度化を図り、デバイス不良の低減および歩留まりの向上が求められている。

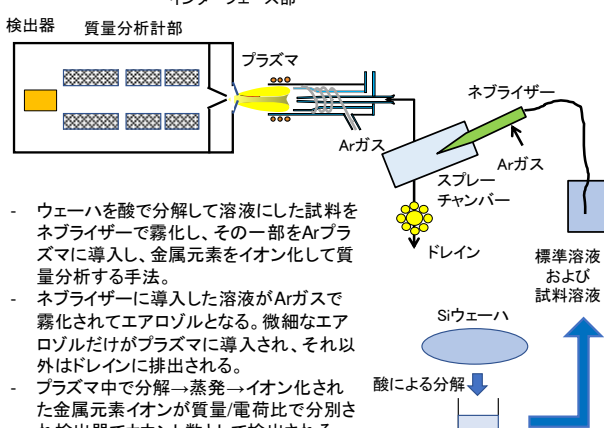
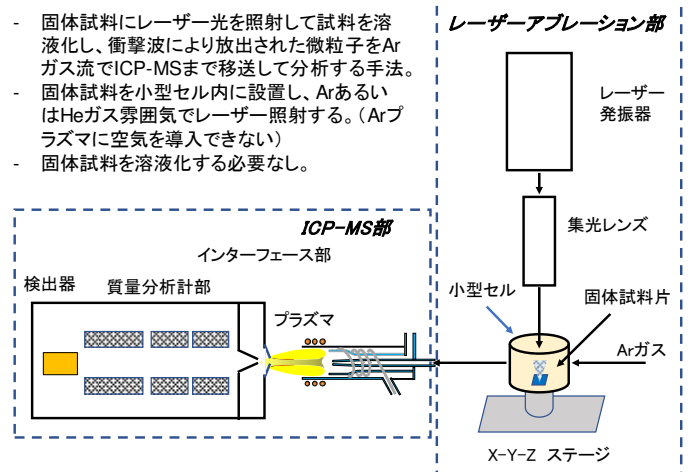


1-1-2 従来技術の課題

従来 Si 半導体で用いられてきた手順は、Si を酸等であらかじめ分解して溶液化した試料を ICP-MS で分析する(図-1 参照)方法であるが、SiC および GaN は酸等で分解して溶液化できないためにこの手順を用いることができない。そこで、レーザー光を照射して SiC および GaN の微粒子を発生させ、Ar ガス流で ICP-MS まで移送して分析する手法(LA-ICP-MS、図-2 参照)が検討されたが、以下の問題点があり実用化に至っていない。

- (1) レーザーを照射して固体試料の微粒子を発生させる際に、微粒子の放出量が試料組成により異なる。よって、被測定試料と同じ組成の固体標準試料を用いて検量線を作成する必要があるが、SiC・GaN の固体標準試料が無いため定量分析ができない。

(2) 固体試料を小さなセル内に設置してレーザーを照射する必要がある。これは、ICP-MS のサンプル導入ラインに空気が入りこむとプラズマが消えてしまうためであり、Ar あるいは He ガスをセル内に導入してレーザー照射を行う必要がある。また、セルの一方から Ar ガス等を導入し、他方から微粒子を取り出して ICP-MS まで移送するため、試料から放出された微粒子がセル内で拡散してしまう問題があり、その拡散を低減するために小さいセルを用いる必要がある。したがって、ウェーハのような大きな固体試料の場合には、セル内に入る大きさに事前に試料を切断する必要があるとともに、試料片を交換する時には、セルを大気に開放して行う必要があり、全自動分析化は不可能である。

従来の ICP-MS (誘導結合プラズマ質量分析法)	従来の LA-ICP-MS (レーザーアブレーション) 法
<p>インターフェース部</p>  <p>検出器 質量分析計部</p> <ul style="list-style-type: none"> - ウェーハを酸で分解して溶液にした試料をネブライザーで霧化し、その一部を Ar プラズマに導入し、金属元素をイオン化して質量分析する手法。 - ネブライザーに導入した溶液が Ar ガスで霧化されてエアロゾルとなる。微細なエアロゾルだけがプラズマに導入され、それ以外はドレインに排出される。 - プラズマ中で分解→蒸発→イオン化された金属元素イオンが質量/電荷比で分別され検出器でカウント数として検出される。 <p>図-1</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 固体試料にレーザー光を照射して試料を溶液化し、衝撃波により放出された微粒子を Ar ガス流で ICP-MS まで移送して分析する手法。 - 固体試料を小型セル内に設置し、Ar あるいは He ガス雰囲気中でレーザー照射する。(Ar プラズマに空気を導入できない) - 固体試料を溶液化する必要無し。  <p>図-2</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Si ウェーハ等は表面酸化膜の酸分解により溶液化が可能であるが、SiC・GaN は溶液化が不可能。 - 金属元素標準溶液と未知試料との比較分析手法。 - 標準溶液を未知試料に添加し、同じマトリックスで分析可能。 - プラズマに導入される絶対量分析ではない。 	<ul style="list-style-type: none"> - 固体試料を溶液化する必要が無い。 - 固体の金属元素標準物質と未知試料との比較分析手法。 - SiC・GaN の標準物質が無い。 - 標準物質と未知試料のマトリックスが異なると定量分析が不可。 - プラズマに導入される絶対量を知る必要がある。

1-1-3 研究開発動向

LA-ICP-MS の定量性を改善する方法として、試料片を酸溶液中に浸漬した状態でレーザー照射を行い、その溶液を ICP-MS で定量する方法が報告されている。標準溶液との比較分析ができるため、定量性は改善されたが、希釈による検出限界の悪化と運用面での煩雑さから自動化は難しい。

また、別の方法として LA-ICP-MS 法と従来の水溶液分析を併用する方法(図-3)も行われたが、ネブライザーに導入される溶液量が 100~300 $\mu\text{L}/\text{min}$ であるのに対して、実際にプラズマに導入される溶液量は約 5~30% であり、ほとんどの溶液はスプレーチャンバーからドレインとして排出されている。結果として、ICP-MS のプラズマに導入された絶対量が不明であり、定量分析手法として実用化には至っていない。

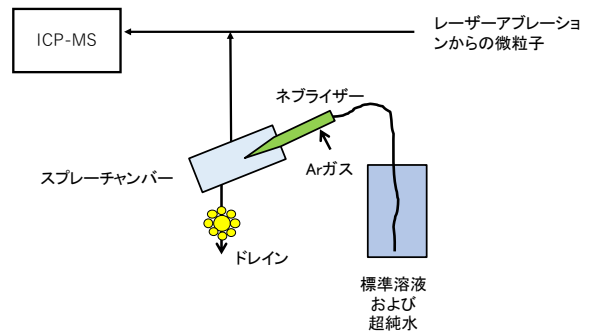


図-3 LA-ICP-MS法と溶液導入法の併用例

1-1-4 新技術を実現するために解決すべき課題と対応

LA-ICP-MS 法を用いて SiC および GaN ウェーハを直接定量分析する方法として、以下の課題に取り組み図-4の装置の開発を行った。

(1) LA-ICP-MS 法の定量分析の課題および解決法

LA-ICP-MS 法では、試料と同じ成分の固体標準試料が無いいため正確な定量分析が不可能である。

そこで、弊社で溶液中の微粒子分析として用いられていた MSAG を用いることで、この問題を解決することにした。但し、LA のようなドライプラズマ条件に極少量の水をプラズマに導入すると ICP-MS の感度が大きく変化することが分かっており、この問題を解決するために MSAG のシリンジを 2 台設けた装置を開発した。2 台のシリンジから吐出される合計量を 3 μ L/min に固定した状態で 2 液の比率を変えて検量線を作成することで正確な定量分析が可能となった。

(2) LA-ICP-MS 法を用いて大気雰囲気下でウェーハ試料直接分析の課題および解決法

従来の LA-ICP-MS 法では、密閉系セル内に設置した固体試料を Ar あるいは He ガス雰囲気下でレーザー照射を行い、レーザー照射により放出された微粒子を、Ar あるいは He ガスで密閉系セルから押し出し ICP-MS に導入している。よって、セル容積が大きいと、放出された微粒子がセルから押し出される前に拡散してしまうため小型セルが用いられている。結果として、固体試料片の大きさが小型セル内に入れられる大きさ(通常 1 から 2 cm角)に制限されるため、固体試料をあらかじめ切断しなければならないという問題点がある。

そこで、密閉系セルを用いなくてレーザー照射された微粒子を ICP-MS に導く技術を開発した。レーザー照射で放出された微粒子をガスで押し出すのではなく、空気と一緒に吸引することで微粒子の拡散を抑えて ICP-MS に導入した。但し、空気が ICP-MS に入るとプラズマが消えるため、GED を用いて空気を Ar ガスに置換し、Ar ガス中の微粒子にすることで直接導入を可能とした。また、効率良く微粒子を吸引するためのエジェクターを開発し、12"ウェーハを密閉系セル無しで分析することが可能となった。

(3) LA-ICP-MS を用いた全自動装置化の課題および解決法

ウェーハを切断しないでそのまま分析することができないと、半導体工場でのインライン分析装置として全自動化することが不可能であったが、(2)の開発によりウェーハをそのまま分析することが可能となった。これを半導体工場でのオンライン全自動分析装置にするために、ウェーハのロードポート、搬送ロボット、アライナーを(2)で開発したレーザーシステムおよび(1)で開発した Dual MSAG とを組み合わせた全自動 LA-GED-MSAG-ICP-MS の試作機を完成させることができた。

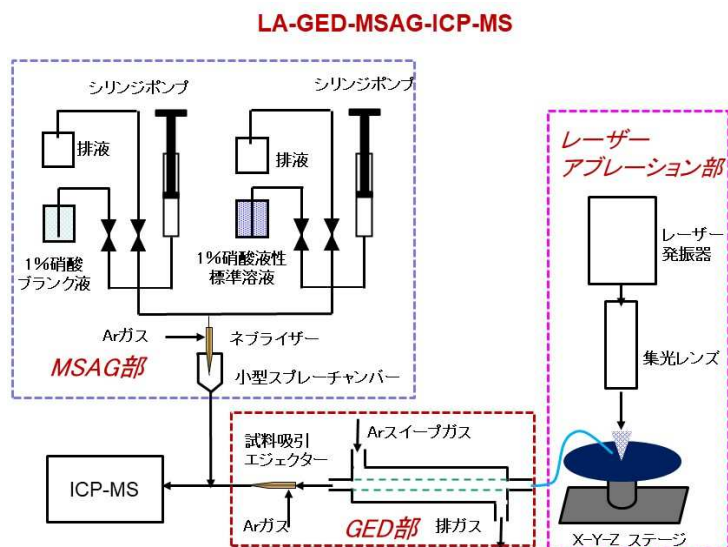
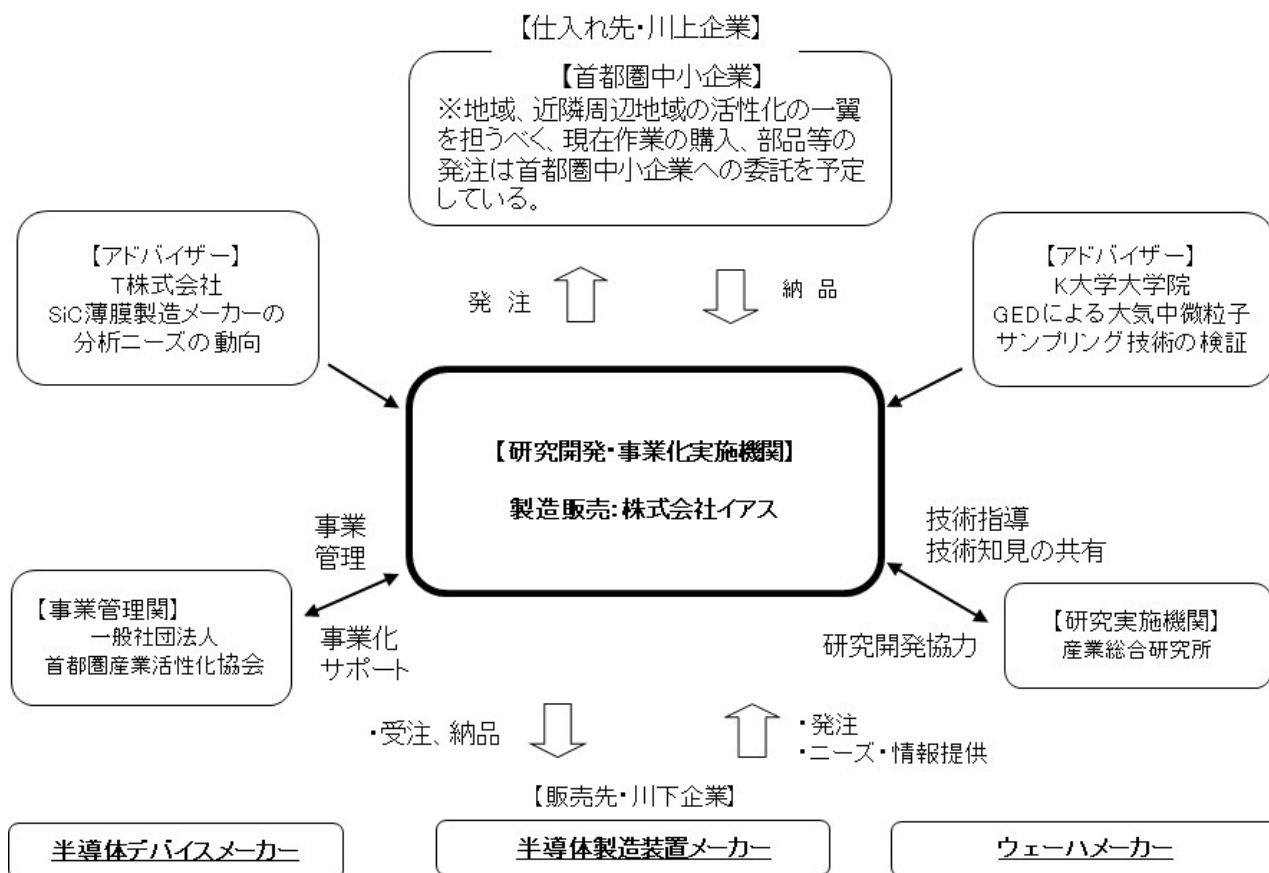


図-4 LA-GED-MSAG-ICP-MS の概略図

1-2 研究体制



1-3 成果概要

1-3-1 LA-ICP-MS法の定量分析への対応

【1-1】液混合MSAG用ソフトウェアの開発

LA-ICP-MSの定量分析を行うときに、MSAGから標準溶液を添加する。その際に、水が全く導入されていないICP-MSに極微量の水が導入されることでICP-MSの感度に変化する。その問題を解決するために、2台のMSAGからそれぞれ1%硝酸ブランク溶液と1%硝酸金属元素混合標準溶液から添加するトータル量を一定(3 μ L/min)にし、2液の混合比率を変化させて検量線を作成できるソフトウェアを開発した。

【1-2】ネブライザーと試料導入チューブの開発

2台のMSAGから吐出する流量を変化させた後に安定するまでの時間を短縮するために、自作のネブライザーおよびコネクタを開発し、目標である1分以内を達成した。

【1-3】 2 個のシリンジを 1 台の MSAG に組み込んだ試作品の開発

【1-1】と【1-2】で開発した技術およびソフトウェアでは、2 台の MSAG を用いるために設置スペースが大きくなることとコストも高くなる。よって、1 台の MSAG に 2 個のシリンジを組み込んだ試作品を開発した。

1-3-2 LA-ICP-MS 法を用いて大気雰囲気下でウェーハ試料直接分析への対応

ウェーハ試料を従来の密閉系小型セルに入れなくて分析するために、試料を清浄な大気雰囲気下でレーザー照射し、生成した微粒子を吸引して GED を介して ICP-MS のプラズマに導入する必要がある。微粒子を吸引するために、市販のネブライザーを用いて目標値である 1 を上回る吸引量が得られたが、吸引量にばらつきがあることと納期が長いこと、自作の吸引装置(エジェクター)を開発した。結果として 5 倍以上の吸引量を達成する事ができるとともに、GED を介した微粒子の透過効率も目標である 98%以上を達成した。

1-3-3 LA-ICP-MS を用いた全自動装置化への対応

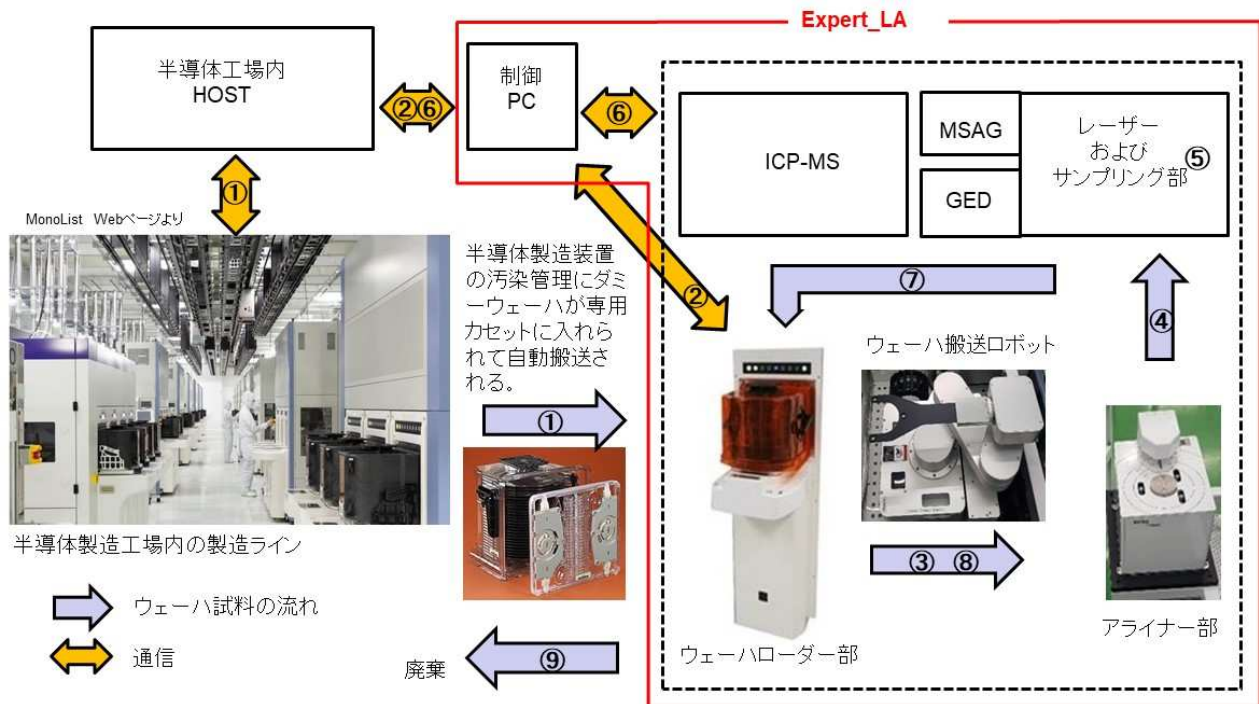
【3-1】既存の LA-ICP-MS における SiC および GaN 分析最適条件の開発

産総研が所有するナノ秒とフェムト秒レーザーを用いて種々の条件で SiC および GaN ウェーハに照射し、照射により得られたクレータ形状をマイクロスコップで観察し、最適の条件出しを行った。目標としていた固体濃度で $1.5E+09$ atoms/cm² の不純物が測定できるレーザーとして、低出力のフェムト秒レーザーを SiC および GaN に用いることが最適と判断し、【3-2】の開発に用いた。

【3-2】SiC および GaN 分析用 LA-ICP-MS の開発

ウェーハを直接分析できるレーザーアブレーション装置を開発し、半導体工場で用いられる全自動 LA-ICP-MS 装置の試作品を開発した。

まず、市販のレーザーを購入し、光学系およびウェーハを載せた X-Y-Z ステージ駆動系およびそれらを制御するソフトウェアを開発し、手動で SiC および GaN ウェーハおよび薄膜試料をそのまま分析できるシステムを開発した。次に、ウェーハの自動搬送ロボット、ウェーハカセットローダー、ウェーハアライナーを組み込んだ全自動 LA-ICP-MS 分析装置の最終試作機を開発した(図-5 参照)。



図—5 半導体工場で使用される全自動 LA-ICP-MS 分析装置システム図

1-4 当該研究開発の連絡窓口

(1) 事業管理機関

〒192-0083 東京都八王子市旭町 9 番 1 号

一般社団法人首都圏産業活性化協会 産学官連携コーディネーター 堺 奈都

電話: 042-631-1140 E-mail: sakai@tamaweb.or.jp

(2) 主たる研究開発実施機関

〒191-0011 東京都日野市日野本町2-2-1

株式会社イアス 代表取締役 川端克彦 (PL)

電話: 042-589-5525 E-mail: katsu.kawabata@iasinc.jp

(3) 研究開発実施機関

〒305-8560 茨城県つくば市梅園1-1-1

国立研究開発法人産業技術総合研究所

計量標準総合センター 物質計測標準研究部門

無機標準研究グループ 研究グループ長 大畑 昌輝 (SL)

電話: 029-861-2000 E-mail: m-oochata@aist.go.jp

第2章 本論

2-1 LA-ICP-MS 法の定量分析への対応 (株式会社イアス)

【1-1】液混合 MSAG 用ソフトウェアの開発

一般的な ICP-MS を用いた溶液の分析では、未知試料溶液に金属標準溶液を添加する方法(標準添加法)を用いることで、試料マトリックスの影響を受けずに精度の高い定量分析が可能である。この場合、スプレーチャンバーを透過する効率が常に一定である前提で比較分析が行われ、ネブライザーに供給される標準溶液で得られた検量線から未知試料の濃度を求める定量分析が行われる。一方、ICP-MS で通常の試料導入に用いられるネブライザーでは、溶液試料の交換が素早くできるように溶液の導入量が 100~300 $\mu\text{L}/\text{min}$ であり、約 1 L/min の Ar ガスにより溶液が霧化されてエアロゾルが生成される。生成されたエアロゾルの粒径は幅広く、溶液導入量が多いほど大きな粒径のエアロゾルが生成される。大きな粒径のエアロゾルが ICP-MS のプラズマに導入されるとエアロゾルが膨張するため、プラズマが不安定になる。よって、大きな粒径のエアロゾルはスプレーチャンバーで捕捉されてドレインに排出され、粒径の小さいエアロゾルだけが ICP-MS に導入される。溶液の導入量を少なくするにつれて導入効率は良くなるが、市販のシリンジポンプでは 10 $\mu\text{L}/\text{min}$ 以下を安定して導入することは難しかった。そこで、自社で特殊なネブライザー、スプレーチャンバーおよびシリンジポンプ 1 台を組み込んだ MSAG を開発し市販化している。MSAG は、数 $\mu\text{L}/\text{min}$ の溶液を安定して吐出することができる装置である。20°Cにおける Ar ガス中の飽和水蒸気量は、Ar ガス流量が 0.3 L/min の条件では 5 $\mu\text{L}/\text{min}$ であり、それ以下の導入量では溶液は気化し、ほぼ 100%が ICP-MS に導入することが確認されている。100%導入が可能になると、プラズマ中に導入された絶対量を用いて定量分析が可能となる。但し、LA-ICP-MS の定量分析を行うときに、MSAG から数 $\mu\text{L}/\text{min}$ の溶液を供給すると、水が全く導入されていないドライプラズマ条件下では ICP-MS の感度が変化することが分かっている。その問題を解決するために、2 台の MSAG からそれぞれ 1%硝酸ブランク溶液と 1%硝酸金属元素混合標準溶液から添加するトータル量を一定(3 $\mu\text{L}/\text{min}$)にし、2 液の混合比率を変化させて検量線を作成できるソフトウェアを開発した。MSAG で用いる Ar ガス流量を 0.3 L/min にした理由は、LA で生成した微粒子を ICP-MS に導入しながら標準添加法で定量分析を可能にするためであり、試料マトリックスによる ICP-MS の感度変化に影響を受けずに正確な定量分析が可能となった。

【1-2】ネブライザーと試料導入チューブの開発

初年度は、2 台の既製品 MSAG を用いて 2 液が混合する部分およびネブライザーの開発を行った。MSAG から吐出される溶液流量が数 $\mu\text{L}/\text{min}$ と少量であり、図-6に示すような配管の接続部およびネブライザー内の空隙部があると、溶液の置換に長時間を要するため実用的ではない。そこで、空隙部を無くすために石英製のキャピラリーを用いて空隙部のない導入システムを開発し、短時間で溶液の置換および安定した信号を得ることができた。

また、2 台の MSAG から吐出される溶液の合計流量を 3 $\mu\text{L}/\text{min}$ に固定してブランク液と標準液の比率を変えて検量線を作るソフトウェアを開発し、2液混合の安定時間は目標である 1 分以内を達成した

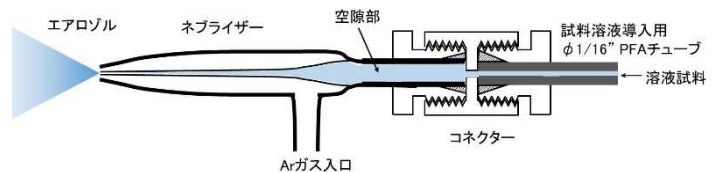


図-6 市販のネブライザー

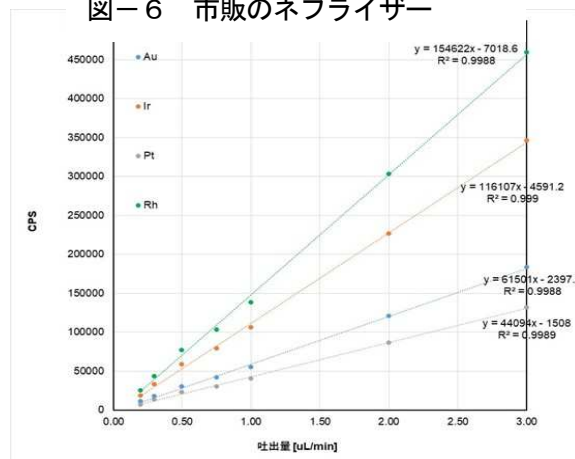
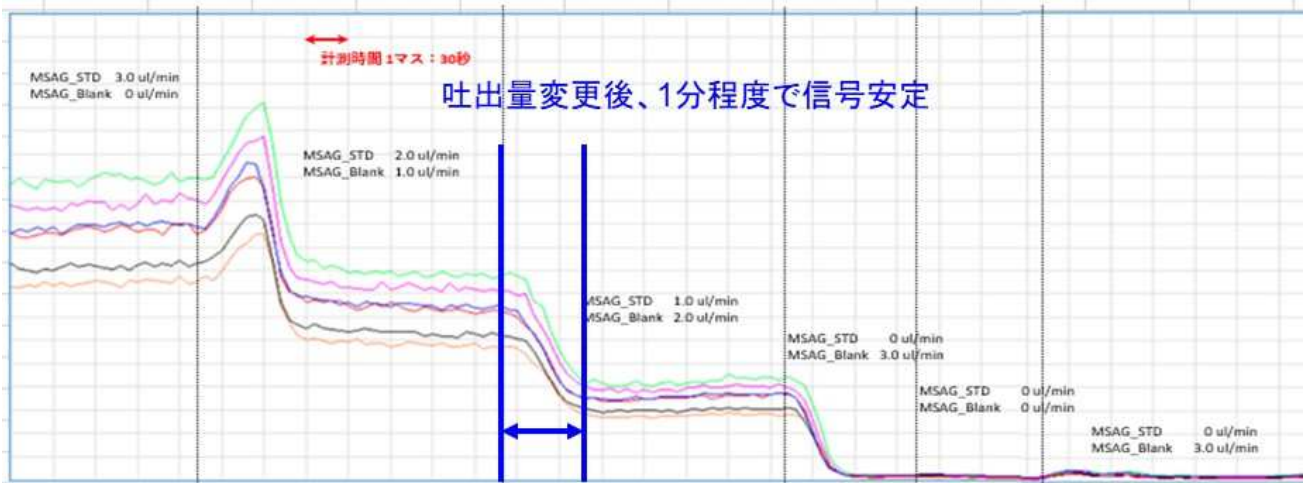


図-7 MSAG による検量線

(図-8参照)。また、標準溶液の吐出量を 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 $\mu\text{L}/\text{min}$ まで変化させたときの相関係数は、目標である 0.998 以上を達成した(図-7)。

図-8 MSAG 信号の安定性および切り替え時間



【1-3】 2 個のシリンジを 1 台の MSAG に組み込んだ試作品の開発

2 年度は、1 台の MSAG に 2 個のシリンジを組み込んだデュアル MSAG の試作機(図-9参照)を製作し、(1)および(2)を組み合わせた LA-GED-MSAG-ICP-MS としてウェーハを直接定量分析できる装置を開発した。

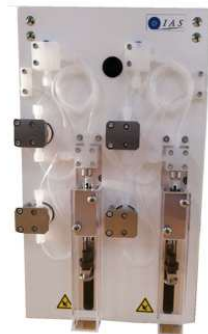


図-9 デュアル MSAG

2-2 LA-ICP-MS 法を用いて大気雰囲気下でウェーハ試料直接分析への対応 (株式会社イアス)

ウェーハ試料を大気雰囲気下でレーザー照射し、生成した微粒子を吸引して GED を介して ICP-MS のプラズマに導入する。微粒子を吸引するために市販のネブライザーを用いて目標(供給 Ar ガス流量/空気吸引量比=1 以上、粒子の透過効率 98%以上)を達成することができた。但し、市販のネブライザーの納期および再現性に問題があるため自作のエジェクター(図-10)を開発し、目標値の 5 倍以上を達成する事ができた。開発したエジェクターは、図-11に示すように約 0.1 L/min の Ar ガスを供給することで、約 0.6 L/min の空気を吸引することができた。次に、このエジェクターおよび GED を用いて微粒子の透過効率の確認を本開発のアドバイザーが所有している SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)を用いて行ったところ、エジェクターを GED の前段に設けると静電気の影響で 5%くらいのロスが観察された、そこで、エジェクターを GED の後段に設けると共に静電気対策を施し、目標の 98%以上の透過率を達成した。【3-2】で製作した LA 装置および GED とを組み合わせたシステムを用いることで、密閉系の小型セルを用いることなくウェーハ試料をそのまま LA-ICP-MS で分析することが可能となった。



図-10エジェクター写真

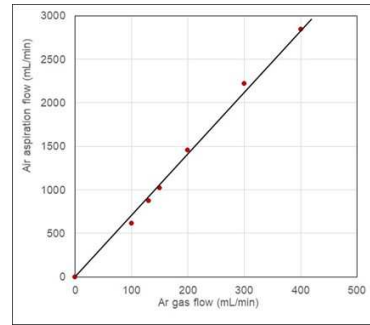


図-11 Ar ガス供給量と空気吸引量の関係図

2-3 LA-ICP-MS を用いた全自動装置化への対応 (株式会社イアス、産業技術総合研究所)

【3-1】既存の LA-ICP-MS における SiC および GaN 分析最適条件の開発

初年度は、産総研が所有するナノ秒とフェムト秒レーザーを用いて、種々の条件で SiC および GaN ウェーハにレーザーを照射して得られるクレータ形状を顕微鏡で観察して、レーザーの最適照射条件の評価を行った(図-12参照)。レーザーアブレーション時の試料サンプリング方法、He ガスと大気雰囲気の違い、レーザーの照射エネルギー・パルス時間、レーザー光の収束方法、固体試料の移動速度等の検討をし、大気雰囲気下で固体標準試料および SiC と GaN 試料を分析するための最適条件を開発し、製作するレーザーを決める材料とした。2年度は、大気雰囲気下での LA-ICP-MS 分析を試験的に実施し、大気雰囲気下での分析が可能であることを確認するとともに、その基礎的分析性能の評価を行った。

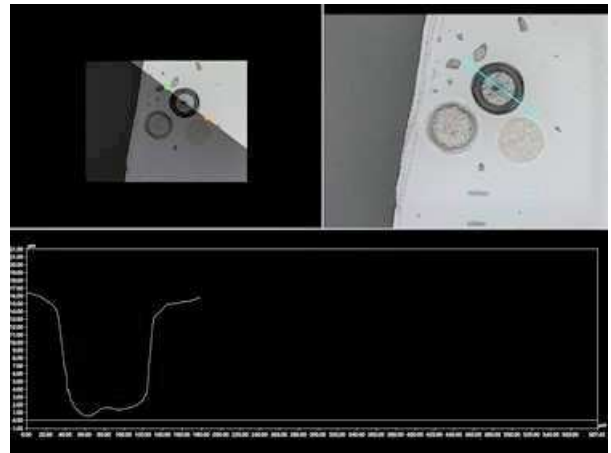


図-12 レーザーを GaN ウェーハに照射して得られたクレーターの断面図

【3-2】SiC および GaN 分析用 LA-ICP-MS の開発

初年度に、LA-ICP-MS で用いるウェーハ稼働用の X-Y-Z および回転ステージを製作した。2年度は、【3-1】で検討した結果を基に、フェムト秒レーザーを選択したレーザーアブレーション装置の試作機を製作した。また、試作機を GED および MSAG と組み合わせた手動のシステムを完成させ、ガラス固体標準試料の大気雰囲気下での分析を実施し、保証値の範囲内の結果が得られたとともに、目標であった固体濃度で $1.5E9 \text{ atoms/cm}^2$ の不純物量の検出にも成功した。最終年度は、ウェーハロードポート、搬送ロボット、アライナーを組み込んだ全自動 LA-GED-MSAG-ICP-MS 装置の試作機(図-13)を製作し、以下のプロセスを自動化した。

1. 半導体製造工場内の製造装置の汚染管理として、ダミーウェーハが専用カセットに入れられ Expert_LA のウェーハローダーに載せられる。
2. ウェーハローダーでマッピング(カセット内のウェーハの位置と数)を行い、カセット内のウェーハマッピング情報を HOST に送信する。

3. HOSTでウェーハ情報の照合後に、ウェーハの情報とあらかじめ設定したウェーハの測定条件がExpert_LAに送られてくる。
4. 最初のウェーハがカセットから搬送ロボットで取り出されて、アライナーでウェーハの位置調整を行う。
5. ウェーハをレーザーアブレーション部に搬送する。
6. あらかじめ指定した部分のLA-ICP-MS分析を実行する。
7. 分析結果を半導体工場のHOSTに報告する。
8. 分析後のウェーハをカセットに返却する。
9. 次のウェーハをカセットから取り出してLA-ICP-MSで分析し、その後カセットに返却する。
10. 最後のウェーハの分析が終了すると、カセットがロードポートから取り除かれる。

以上の開発を前倒しで行い、本開発事業を予定よりも1か月早く完了した。



図-13 LA-GED-MSAGシステム最終試作機

最終章 全体総括

3-2 複数年の研究開発成果と波及効果

【研究開発成果に係る製品等】

(1) ウェーハ分析用全自動 LA-ICP-MS 装置:製品名案 Expert_LA

半導体デバイスで用いられる SiC および GaN ウェーハあるいは薄膜中の極微量金属不純物を全自動で分析できる図-12のようなシステム。

(2) 2 個のシリンジを用いた金属標準エアロゾル発生ユニット:製品名案 MSAG II

この製品は、LA-ICP-MS のようなガス試料を ICP-MS に直接導入して分析する場合に、標準添加法を用いて正確な定量分析を行う場合に用いられる。

(3) LA-ICP-MS を用いた大型試料の直接分析用サンプリング装置:製品名案 GED_LA

この製品は、LA-ICP-MS を用いて固体試料を分析する時に、試料を大気雰囲気下に設置した状態で分析するために用いられる。

【その他波及効果】

(1) Expert_LA は、SiC あるいは GaN 以外の化合物半導体で、酸による分解の難しい InP, GaP, AlN 等デバイス中の極微量金属不純物分析にも応用できる。

(2) MSAG II は、金属標準粒子の代わりに用いることが可能であり、溶液中の微粒子分析における標準化手法として応用が可能である。近年、金属不純物濃度だけでなく、粒子径および粒子組成分析のニーズが高まってきており、粒子径が既知のナノパーティクル標準粒子を用いて分析が行われているが、標準粒子が存在する元素に限りがあること、溶液中での標準粒子の分散が難しいといった問題点がある。よって、MSAG II を用いることで、より簡便に微粒子分析が可能となり、半導体で用いられている各種薬液中の微粒子分析だけでなく、環境河川中の微粒子分析にも応用ができる。

(3) GED_LA は、固体試料を大きいまま分析する場合に応用できる。具体的には、地層の年代別分析を行う場合、地面から掘削して円柱状試料(直径 10 cm、深さ 3 m 位)を採取し深さ方向に分析する。その場合、掘り出した地層を水平状に設置し、大気雰囲気下で直接 LA-ICP-MS 分析を行うことが可能である。

3-3 研究開発後の課題・事業化展開

【知財戦略】

(株)イアスに基本的な知財戦略は、3 種類を考えている。一つは、重要な技術要素は特許を取得し、競合会社に対して技術的優位を持つことである。もう一つは、技術を公知化することである。(株)イアスが既に用いている技術であっても、中国あるいは韓国企業がそれぞれの国でその特許化することは可能であり、(株)イアスが特許侵害で訴えられる可能性がある。(株)イアスが既に使用している技術でも、それが公知の技術であることを後から証明するは大変であり、それを予防する目的である。最後一つは、社内重要機密技術として公知化せずにブラックボックス化することである。

(株)イアスは、東京都中小企業振興公社のグローバルニッチトップ助成事業の支援を 2016 年から 2018 年の 3 年間と、2019 年からの 3 年間受けることができ、国内外を含めて 50 以上の特許を取得した。(株)イアス独自で開発して取得した特許もあるが、ユーザーと共同で取得した特許項目も 4 件ある。よっ

て、本研究開発で特許性のある技術が開発できた時は、特許出願を行う予定であり、他社への技術供与は考えていない。

本研究開発に関しては、MSAGの特許が日本、台湾、米国、中国、韓国で取得できている。

【事業化計画】

【想定する国内、海外市場(現状、今後の動向)】

富士経済グループによると、SiC および GaN パワー半導体市場は成長し、2018 年と比べて 2030 年にはそれぞれ 10.8 倍の約 4,230 億円と 60.3 倍の 1,085 億円になると予測されている。

本研究開発製品の販売対象となる川下企業は、半導体デバイスメーカー、半導体製造装置メーカー、ウェーハメーカーであり、多くの(株)イアス既存顧客は、SiC/GaN ベース半導体の製造を始めており、半導体製造工場の製造ラインに組み込むことができるインライン全自動金属不純物分析装置の開発を求められている。

【川下企業(顧客)ニーズ】

SiC/GaN を用いた半導体は、高速通信が必要とされる自動運転、IoT, AI, 5G 等の分野で最終製品に組み込まれて用いられる。最終製品組み込み業者から半導体デバイスメーカーに対しては、より小型・高集積・高機能化が求められており、それらを達成するには回路幅をより細くすることが必要となる。結果として、回路間の絶縁不良の原因となる金属不純物管理が重要となり、より極微量の金属不純物を正確・迅速に測定できるインライン全自動分析装置が求められている。

【販売促進戦略】

(株)イアスの既存主力製品は、Si ウェーハ中の極微量金属不純物をインラインで全自動分析できる装置 Expert であり、世界中の大手半導体・ウェーハ・装置メーカーに約 180 台の納入実績がある。(株)イアスは、製品の品質およびサポートに力を入れており、これらの顧客から高い評価を得ている。結果として、新しく製造ラインを作る場合には、(株)イアスの装置が標準品として使用されている。本研究開発製品 (Expert_LA) は、(株)イアス既存製品 Expert のユーザーを最初のターゲットに絞って販売する戦略を考えている。本開発製品の販売は、一般消費者向けではなく、大型投資が可能な大手半導体関連メーカー向けである。よって、新規顧客開拓をする場合にも、大手の半導体関連工場にターゲットを絞って行う。(株)イアスの売り上げに対する海外比率は 70%を超えており、世界中にネットワークを既に構築しているが、ヨーロッパおよびアメリカ市場におけるサポートが追いつかなくなっている。そこで、2023 年 3 月 1 日に東証プライム市場に上場しているローツェ株式会社の傘下に入ることにした。ローツェ(株)の主力製品はウェーハの搬送系であり、世界中の大手半導体顧客向けのサポート拠点を既に持っており、今後は、ローツェ(株)のリソースを用いることで、より幅広く販売・サポートができる体制となった。MSAG II 及び GED_LA 製品に関しては、ICP-MS と一緒に用いられる製品であり、(株)イアス既製品である ASAS の販売と同様に ICP-MS メーカーおよびその代理店と連携を図って販売促進を行っている。メーカー向けのトレーニングおよびセミナーも既に実施している。

学会発表では、2023 年 5 月にプラズマ分光分析研究会で招待講演として本研究結果を紹介する予定である。また、2023 年 9 月にベルギーにブルージュで開催される UCPSS に申し込みをしており、口頭発表できることが決定している。この学会は、半導体コンソーシアムである IMEC が主催している学会であり、大手半導体関係の会社に広く本技術を紹介できる機会と考えている。また、2024 年 1 月に米国で開催さ

れる Winter Plasma Conference にも発表予定である。この学会は、ICP-MS に関連する学会では最大のものであり、分析業界にも広く技術を紹介できる機会と考えている。