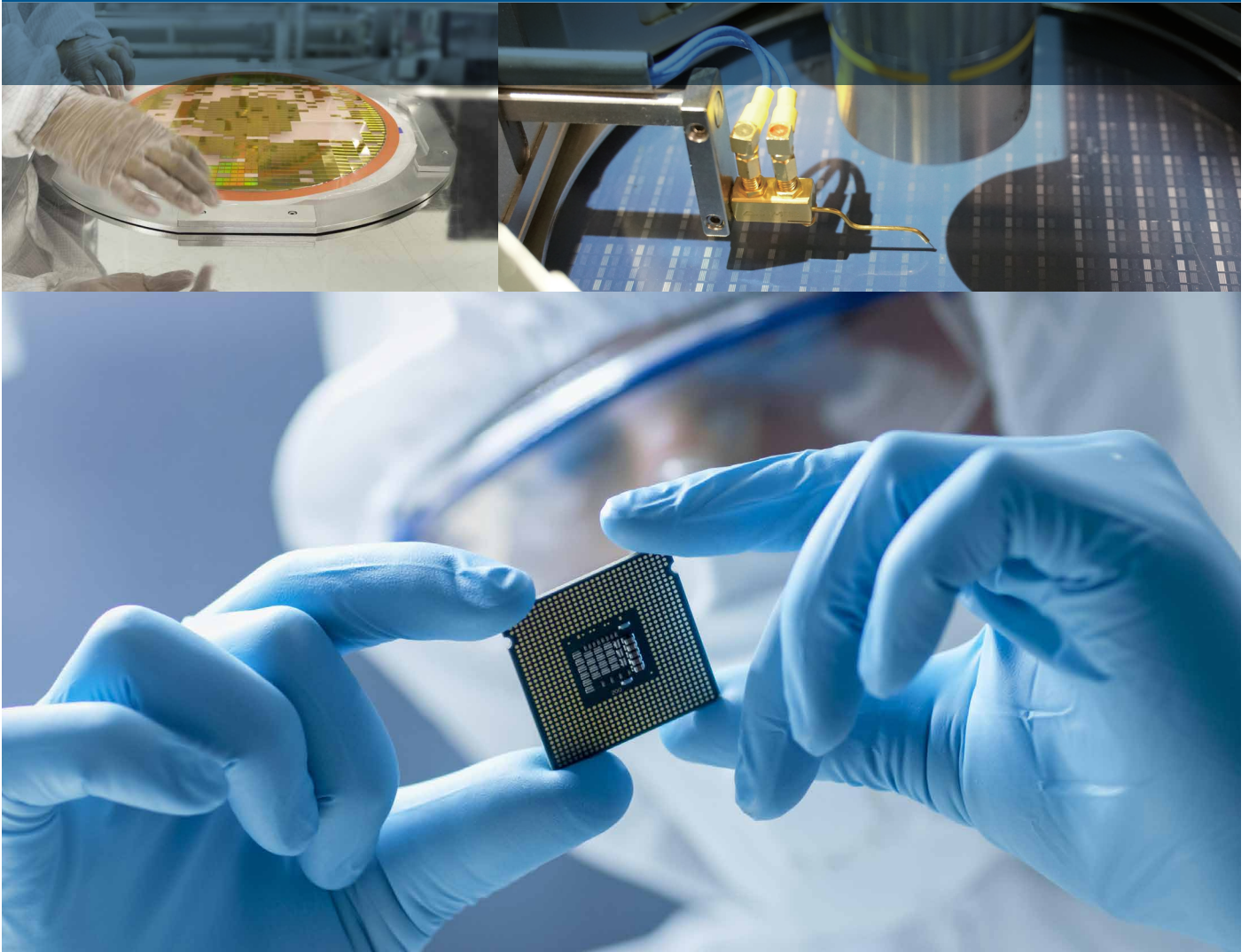
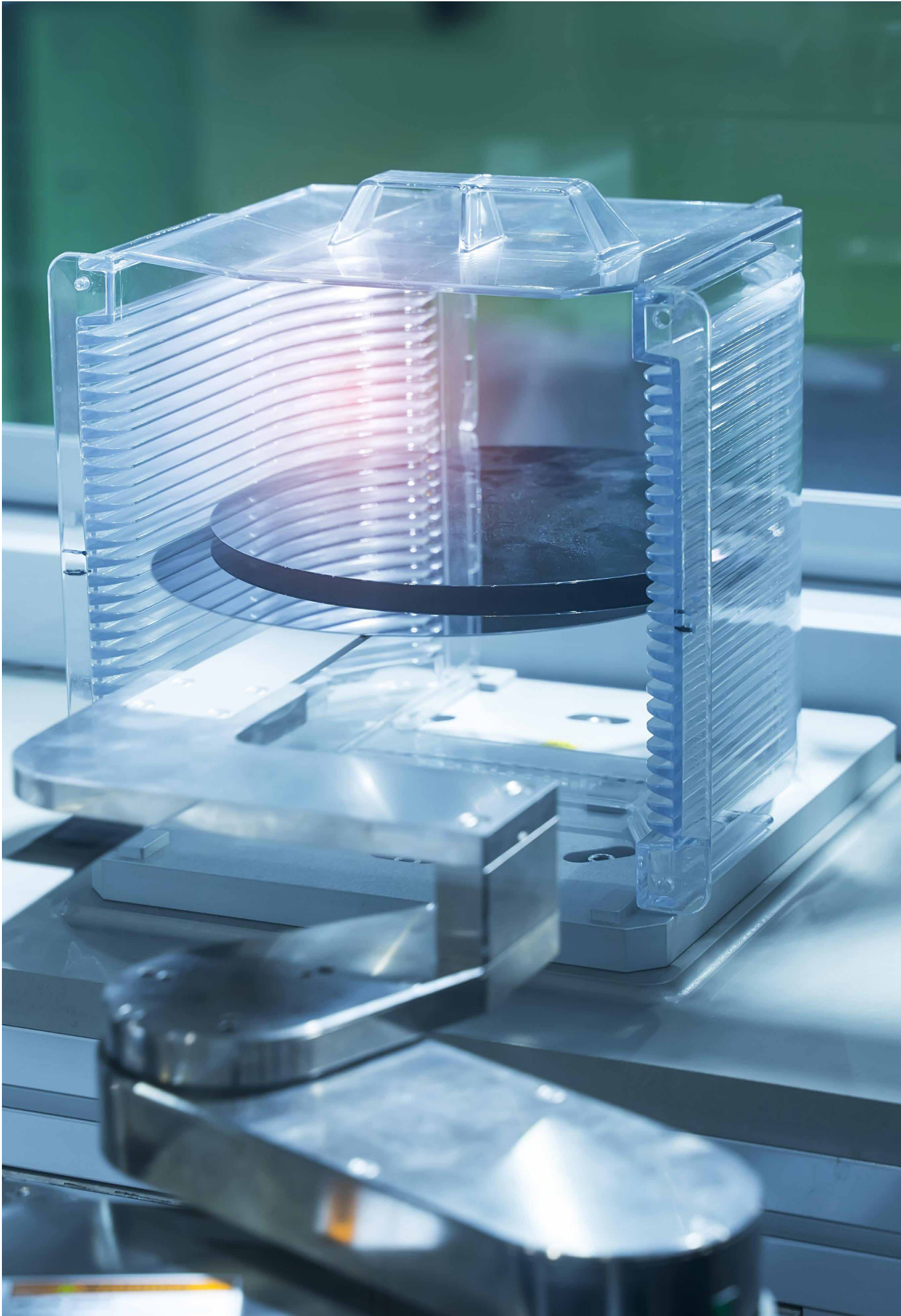


アジレントの半導体産業ソリューション





はじめに

半導体は現代の電子製品の中核であり、スマートフォン、車、およびその他の分野で使用されています。半導体産業の進歩に伴い、多くの機器が小型化、高速化し、信頼性とパワーが向上しています。

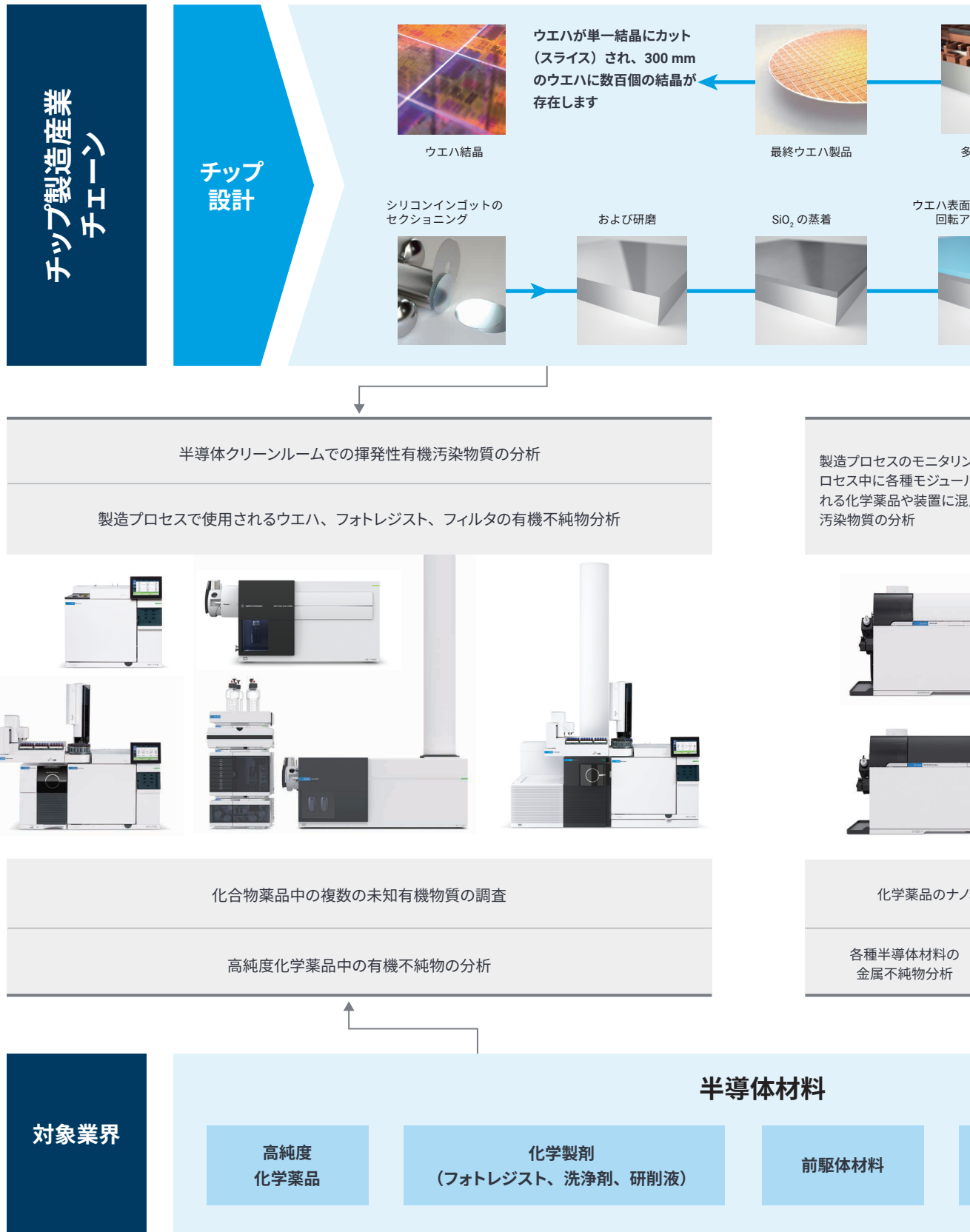
半導体メーカーはコスト高の問題を解決するため、半導体製造時の歩留りに非常に大きな関心を寄せてきました。製品の歩留りに影響する要素は多数ありますが、中でも汚染物質は間違いなく最も重要な要素の1つです。業界の専門家の推定によると、生産時の損失の約 50 % が汚染物質により発生しています。

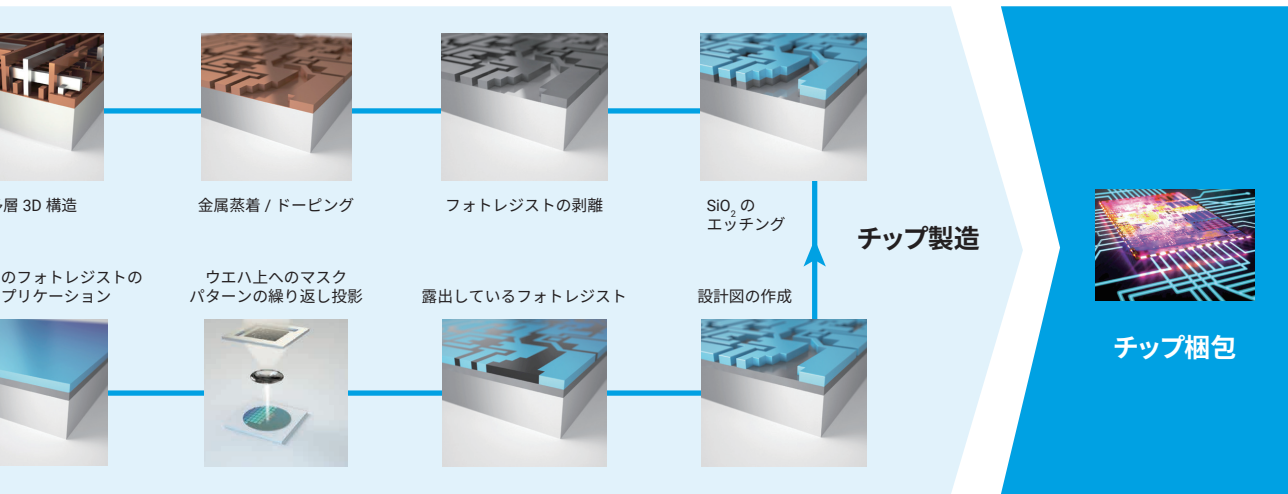
1970 年代から今日までに、チップ製造プロセスは「ミクロン」から「ナノメートル」の時代に移行し、10 nm 未満のノードサイズが開発されています（現在 TSMC と Samsung が製造している最新チップは 3 nm です）。部品がナノスケールにまで小型化する中で、汚染物質や不純物の制御はますます重要になっています。超微量の汚染物質が存在するだけで歩留りが低下し、製品の信頼性低下や不具合を招くためです。半導体や電子製品の不純物分析は、ウエハ、原材料、プロセス薬品の試験から最終製品の品質保証/品質管理まで、さまざまな段階を網羅する必要があります。さらに、半導体産業チェーン全体のデバイス製造、センサー製造、コントローラ製造、およびその他の高度な製造ステップにおいては、真空制御も非常に重要です。

アジレントは 1980 年代後半より、主要な半導体メーカーおよび化学薬品サプライヤと緊密に連携して、半導体産業チェーン向けの分析技術とモニタリング技術を開発し、半導体産業での分析に関する課題に取り組み、最先端イノベーションの探求を続けてきました。

アジレントには、多くの革新的技術と優れたサービス提供能力が蓄積されています。アジレントは、プロセスモニタリング、原材料の品質管理、無機不純物、ナノ粒子および有機不純物の検出、環境・衛生・安全規制の遵守、真空リーク検出など、半導体産業チェーンのさまざまな分野において優れた分析機器、ソフトウェア、サービス、サポートを提供し、お客様の成功を支援いたします。

アジレントの半導体製造産業ソリューション





製造プロセスで使用される金属

シリコンウエハの基質、関連層、被覆層の金属汚染物質の分析

ウエハのナノ粒子分析

被覆ウエハの透過 / 拡散 / 反射光学性能試験

粒子分析と、粒子汚染の原因と発生源の調査

製品の成長、製錬、基質処理プロセス

半導体製造、梱包用装置、検出装置の製造

半導体装置と関連部品の金属浸出汚染物質の分析

高純度ガス流路の真空モニタリングと安全保証

真空ポンプ（オイルポンプ、ドライポンプ）、リークディテクタ、真空ゲージ、真空チューブアクセサリ、バルブ、その他のソリューション

シリコンウエハ / シリコン

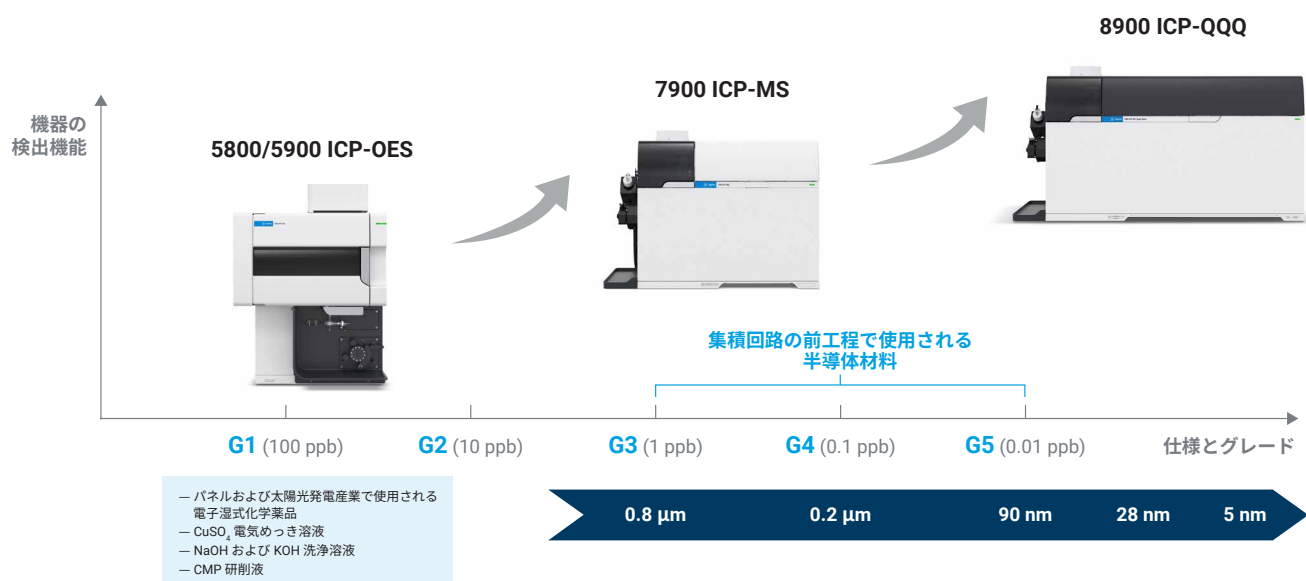
電子特殊ガス

半導体装置

半導体製造における一般的な 元素分析ニーズとアジレントの ソリューション



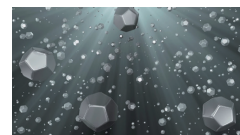
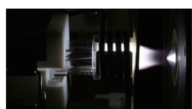
- シリコンウエハの洗浄とエッチングに使用される化学薬品中の微量汚染物質のモニタリング
- ウエハ/IC 製造に使用される化学薬品中の汚染物質のモニタリング
- シリコンウエハの基質、シリコンで使用される関連層と被覆層に含まれる金属汚染物質の評価
- 化学薬品およびウエハの処理槽と洗浄槽に含まれる金属ナノ粒子 (NP) の分析
- 半導体サプライチェーンの電気化学/特殊ガスに含まれる金属汚染物質 (GC/ICP-MS、GED/ICP-MS)
- 施設 (製造用水など)、廃水などの分析



半導体元素分析における 30 年間の経験が生み出す アジレントの継続的イノベーション

ICP-MS は 1980 年代より、半導体産業チェーンの金属元素アナライザとして使用されてきました。半導体製造プロセスは連続的な反復作業であり、業界全体が ICP-MS 性能要件の向上を求めてきました。この 30 年間、日本の東京に拠点を置くアジレントの ICP-MS グローバル研究開発センターは、半導体産業チェーンのお客様と緊密に連携し、グローバルな半導体産業チェーンにおける ICP-MS の継続的なイノベーションをリードしてきました。

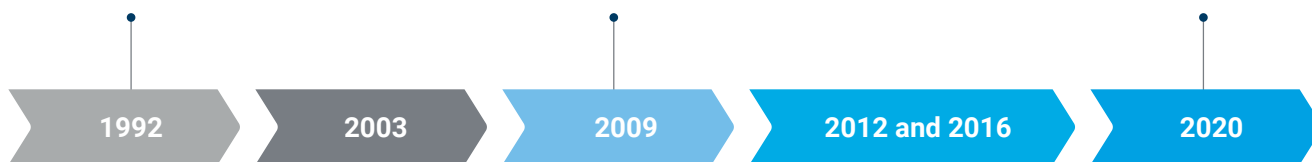
30+ years 半導体産業における Agilent ICP-MS の イノベーションのマイルストーン



アジレントが半導体産業向けのクールプラズマ技術と 4500 ICP-MS を発表。世界初のアジレント製ベンチトップ型 ICP-MS である 4500 ICP-MS が、さまざまな半導体工場のクリーンルームで使用されるようになりました。

半導体産業が完全なステンレス製ベースとクリーンルームで組み立てた 7700s ICP-MS を使用。これにより、ppt レベルの検出能力が実現しました。

アジレントが半導体産業の化学薬品の品質管理に単一ナノ粒子多元素分析を応用。

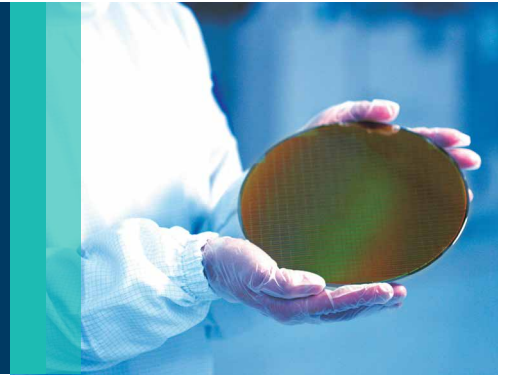


アジレントが半導体専用の 7500cs ICP-MS コリジョン / リアクションセル技術の組み合わせを発表。半導体製造が nm から μm の段階に進化しました。

アジレントが第 1 世代と第 2 世代の ICP-MS/MS を発表。この製品はシングル四重極 ICP-MS と比べて S/N 比が高く、スペクトル干渉を制御しやすいという特長を備えており、世界中の大手半導体企業が、高度な製造プロセスでの汚染管理と歩留り向上に広く使用しました。



半導体産業の 元素分析ソリューションの 一般的なケース



シリコンウエハ

シリコンウエハの表面スキャン -
オフライン / オンライン VPD

オンライン VPD

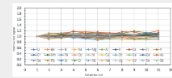
オフライン VPD

シリコン材料の
分析および
ローディング
システム

シリコンウエハ表面の 金属濃度測定

- 12 インチ ✓ 1.0E+07-1.0E+08 atoms/cm²
- 8 インチ ✓ 1.0E+08-1.0E+09 atoms/cm²

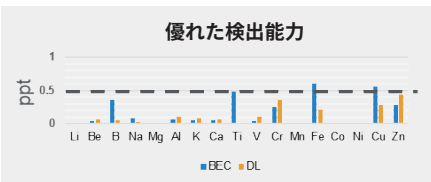
シリコンウエハ試験の
高い安定性。終日の安
定的動作を示す1つの
検量線



超高純度化学薬品



無機酸：HNO₃、H₂SO₄、HF、H₂O₂
塩基：NH₄OH、TMAH
有機試薬：OK73(EBR)、IPA



G5 以上のグレード

元素含有量

- 酸または塩基：< 1 ppt
- 硫酸および有機化合物：< 10 ppt

ナノ粒子

- 含まれる元素：Al、Cr、Fe、Zn、Si など
- ターゲット粒子サイズ：< 15 nm



半導体グレードのフォトレジスト試薬とアクセサリ試薬

フォトレジスト



電子グレード
の NMP また
は PGMEA
溶解サンプル

ArF/
EUV

ppt レベル ICP-MS/MS

g ライン/
i ライン/
KrF

ppb レベル ICP-MS

電気めっき溶液/基本洗浄溶液

直接分析後の低希釈係数での希釈

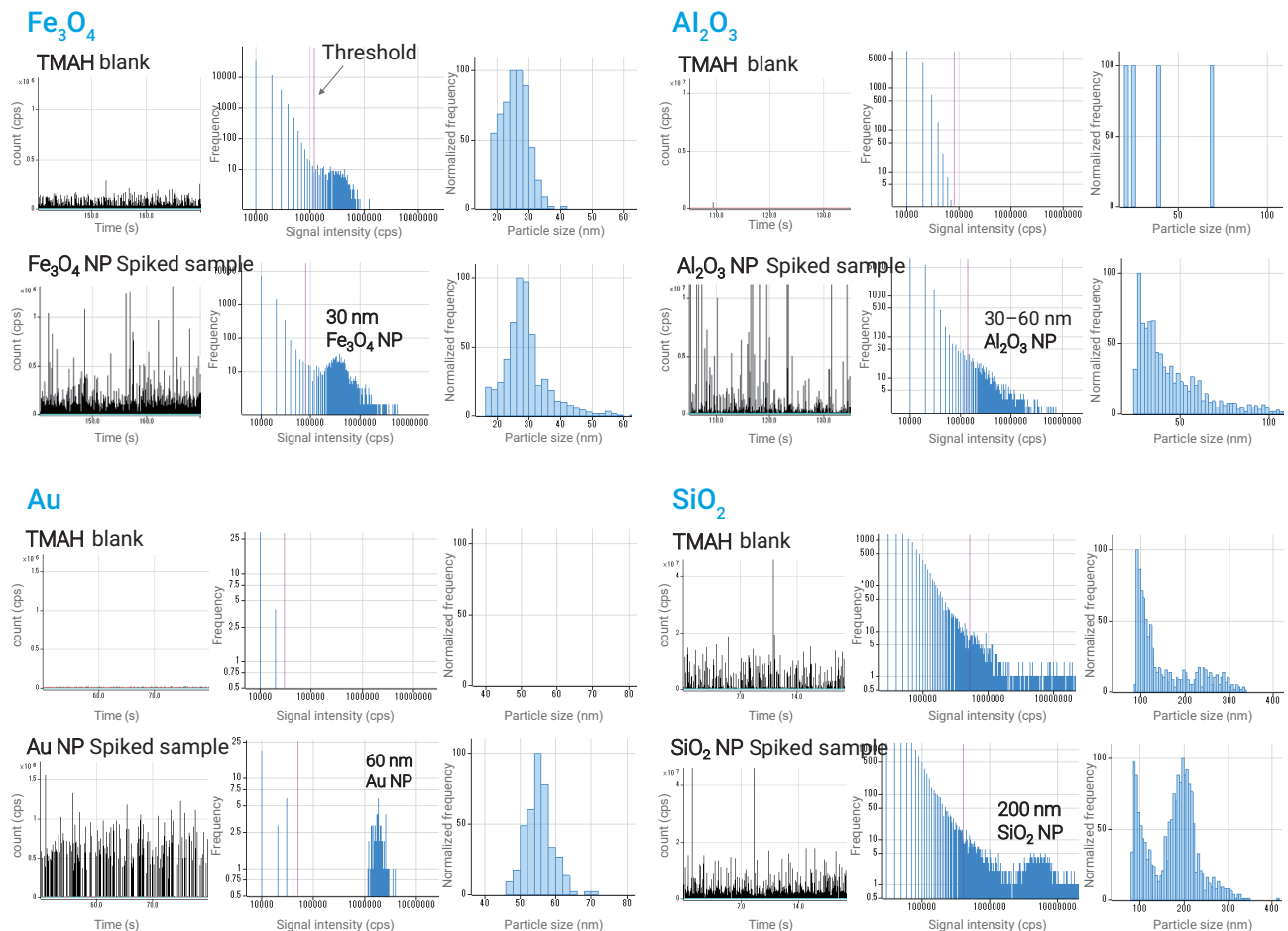
ICP-OES

Solution	Ag 328.088	Al 396.152	As 198.980	Ba 455.403	Be 313.167	Ca 317.933	Cd 228.802	Co 230.796
Label	nm ppb	nm ppb	nm ppb	nm ppb	nm ppb	nm ppb	nm ppb	nm ppb
48%KOH	<5	5.7	<20	27.7	1.1	33.2	2.4	4.8
48%KOH	<5	7.3	<20	29.9	1.2	35.6	1.8	4.4
48%KOH	<5	6.8	<20	31.0	1.2	39.1	1.8	3.0
48%KOH	<5	6.6	<20	31.8	1.2	39.1	2.1	4.6
48%KOH	<5	4.9	<20	32.6	0.9	43.0	1.5	2.8
48%KOH	<5	5.7	<20	33.2	1.2	42.3	2.4	5.5

アジレントの日本の ICP-MS 研究開発チームはこの 30 年間、常に半導体分野におけるイノベーションを推進し、無機元素分析を ppt グレードからサブ ppq グレードへと進化させてきました。半導体産業チェーンがさまざまに変遷する中で、アジレントはグローバルな半導体製造（台湾、韓国、日本、中国本土、米国、EMEA、SEA など）のアプリケーションと販売後のサポートを専門とする全世界規模のチームを立ち上げました。

単一粒子 ICP-MS(spICP-MS) による半導体化学薬品中のナノ粒子の測定

- ナノ粒子 (NP) の多元素分析により、粒子汚染の原因を調査します。
- 化学薬品、ウエハ基質とデバイス表面、および洗浄槽中の金属 NP をモニタリングします。
- MS/MS により、半導体グレードの化学薬品に含まれる NP の多元素分析において、低バックグラウンド、高感度、干渉抑制を実現できます。
- アジレントの高速多元素ナノ粒子分析ソフトウェアを使用すると、1 回のサンプル分析で最大 16 種類の NP のデータを継続的に採取できます。



- Agilent 8900 ICP-MS/MS を使用すると、多元素 spICP-MS モードで 1 % TMAH 中の多元素 NP を測定できます。
- Fe_3O_4 、 Al_2O_3 、Au、 SiO_2 の NP の時間分解能信号、信号分布、粒子サイズ分布のマップを上に表示します。
- Fe_3O_4 と SiO_2 の NP の結果は、この研究で分析したブランク TMAH 溶液にこれら 2 つの NP が含まれていたことを示します。
- 大きい粒子 (200 nm の SiO_2 NP など) が溶液中に存在していても、小さい粒子 (30 nm の Fe_3O_4 NP など) を検出できました。

シリコンウエハ中の金属汚染物質の自動分析

アジレントの ICP-MS システムをあらゆる高度な自動 VDP スキャナと統合することで、シリコンウエハ表面の汚染物質分析を完全自動化できます

気相分解

金属汚染は、洗浄、エッチング、酸化膜成長、イオン注入の間に半導体デバイスに入り込む場合があります。また、多結晶シリコンチャンクと高純度単結晶シリコンインゴット（ここから個々のウエハブランクがスライスされます）の生産で使用される珪岩（珪砂）から、微量の汚染物質が混入する場合があります。珪岩に含まれる主な汚染物質元素は鉄、アルミニウム、カルシウム、チタンです。また珪岩を 98 % の高純度シリコンに変換する炭素熱還元プロセス中に、その他の元素が混入する可能性もあります。このプロセスの後に、気相精製と化学気相蒸着を使用してほとんどの不純物を除去し、9N ~ 11N の高純度シリコンにします。

ウエハの切断や研磨、例えば化学機械研磨スラリーなどによって微量元素が混入する場合があります。最も注意すべきなのは遷移金属、アルカリおよびアルカリ土類元素で、これらはウエハ内に不均一に分散している可能性があります。鉄は、シリコン基質から表面の酸化層に拡散する可能性があります。またチタンの不純物レベルは、単結晶シリコンインゴットの融解および冷却時の分離によって変わる可能性があります。

金属汚染物質が IC デバイ스에 悪影響を与えないようにするため、ウエハ表面上の微量金属レベルをモニタリングおよび制御する必要があります。ウエハ表面のベアシリコン層は、空気中の酸素や水分に曝露されると急速に酸化して SiO_2 になります。この自然酸化物層は厚さ 2 nm 未満 (SiO_2 分子 1 個分) です。IC 設計で絶縁膜が必要な場合は、 O_2 または水蒸気の下でウエハを 900 ~ 1200 °C に加熱し、ウエハ表面により厚い酸化層を形成します。この熱酸化層の厚みは最大 100 nm (0.1 μm) になります。気相分解 (VPD) と ICP-MS の組み合わせを使用して、自然酸化/熱酸化 SiO_2 中の超低濃度の微量金属を測定できます。

Agilent ICP-MS および ICP-MS/MS 機器は、以下のようなすべての主要 VPD システムと互換性があります。

- Elemental Scientific Inc. (米国)
- IAS Inc. (日本)
- PVA TePla AG (ドイツ)
- NvisANA Co. Ltd (韓国)
- NAS 技研 (日本)



NvisANA (韓国) の WCS M300 自動 VPD スキャナシステム

ICP-MS と気相分解の組み合わせ

VPD-ICP-MS は、シリコンウエハ中の微量金属汚染物質を測定するためのバリデーション済みメソッドです。VPD ウエハサンプリングは、表面が大きい酸化層上の金属を1つの液滴に濃縮して測定できるため、高感度です。

この（完全自動化可能な）プロセスは次の4ステップで構成されます。

1. シリコンウエハが VPD チャンバに配置され、HF 蒸気に曝露されます。これにより、自然酸化および熱酸化した SiO₂ 表面層が分解されます。
2. 抽出液滴（通常は 250 μL の 2% HF/2% H₂O₂）をウエハ上に置き、ウエハを精密に制御しながら傾けて、液滴がウエハ表面を「さっと流れる」ようにします。
3. 抽出液滴がウエハ表面を流れるときに、SiO₂ 分解による残留物と金属汚染物質が回収されます。
4. 抽出液滴がウエハ表面から ICP-MS または ICP-MS/MS システムに移され、分析されます。

ICP-MS または ICP-MS/MS を VPD と組み合わせるメリット

VPD は手動で実行できます。ただし経験豊富なオペレータでないと、SiO₂ 層から溶解性金属を安定的に回収できません。VPD とさまざまな元素分析手法を組み合わせ、金属汚染の定量分析に使用することもできます。ただし、ICP-MS や ICP-MS/MS ではあらゆる基本成分で高い感度と低い検出下限を実現できます。同時に、自動 VPD プロセスを使用すると、確実に汚染の可能性を減らすことができます。

Agilent 7900 および 8900 ICP-MS アナライザを VPD システムと統合すると、シリコンウエハ中の金属不純物の分析を完全に自動化できます。これら2種類の Agilent ICP-MS はいずれも、熱酸化 SiO₂ の分析に必要な高マトリックス耐性を備えています。この分析では、抽出液滴中の SiO₂ マトリックス濃度が（酸化層の厚さによっては）5000 ppm に達する場合があります。また Agilent 8900 は、他の ICP-MS システムと比べて高感度、低バックグラウンドであり、MS/MS 操作により非常に効率的に干渉を除去できるという特長も備えています。このような 8900 の優れた機能により、低い検出下限と精度の向上を実現できます。

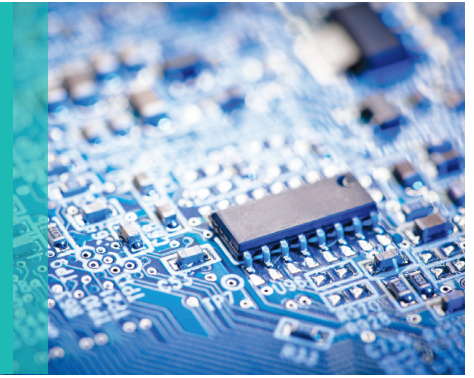


PVA TePla 製 Munich Metrology 全自動ウエハ表面測定システム (WSMS) と Agilent 8800 ICP-MS/MS の組み合わせ



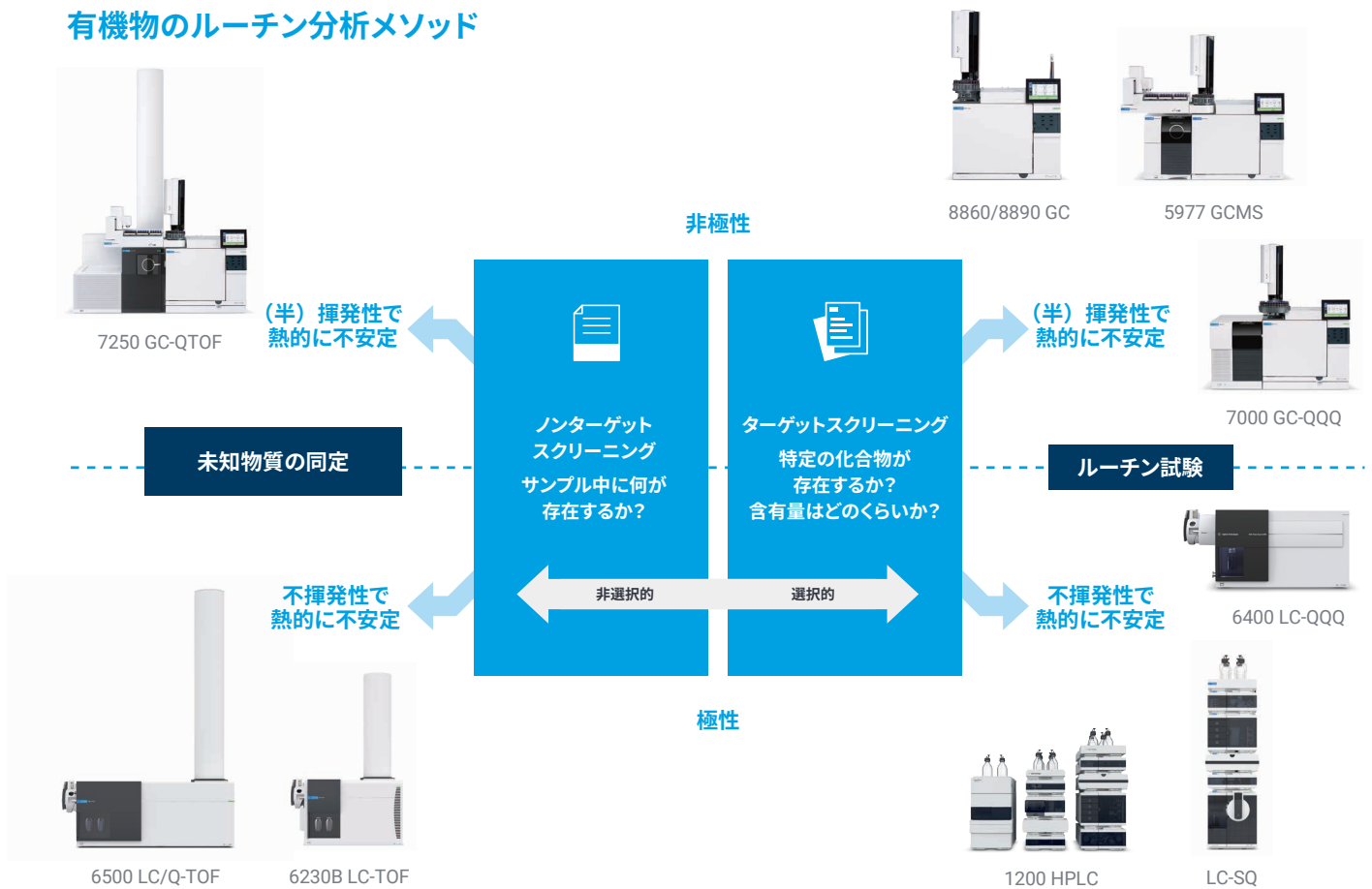
IAS Inc. 製 Expert PS 全自動 VPD-ICP-MS システムと Agilent 8800 ICP-MS/MS の組み合わせ。
写真は ST Microelectronics (クローレ、フランス) が提供

半導体産業の有機分析ソリューション



- ウエハ表面の有機汚染物質の分析
- 高純度化学薬品および UPW 中の有機不純物分析
- 洗浄/剥離/めっき溶液中の不純物の分析
- 化学薬品中の有機組成物分析、製剤分析（例：フォトレジスト、CMP スラリなどの製剤）
- フィルタおよびその他の半導体プロセス部品の汚染物質制御
- 半導体クリーンルームでの揮発性有機汚染物質の分析
- 規制要件（RoHS、REACH など）に基づく電子ガス中の有害有機物質の測定

有機物のルーチン分析メソッド



不断のイノベーション - アジレントはガスクロマトグラフィーの世界をリードします。



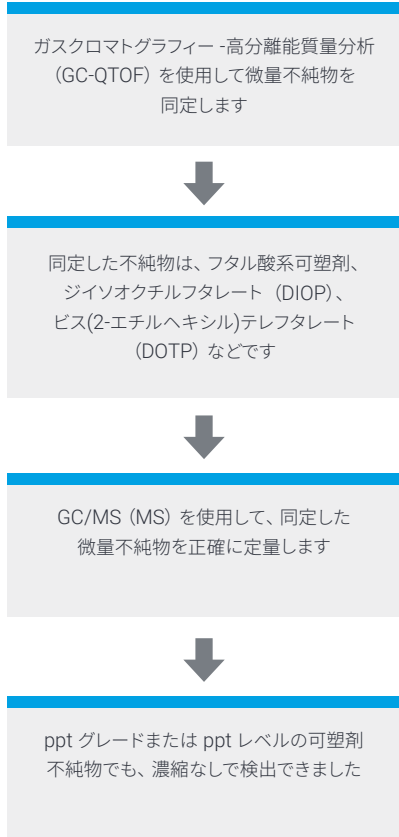
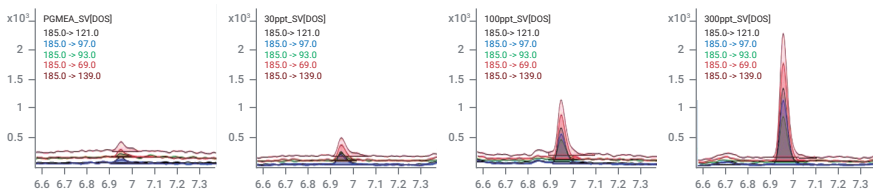
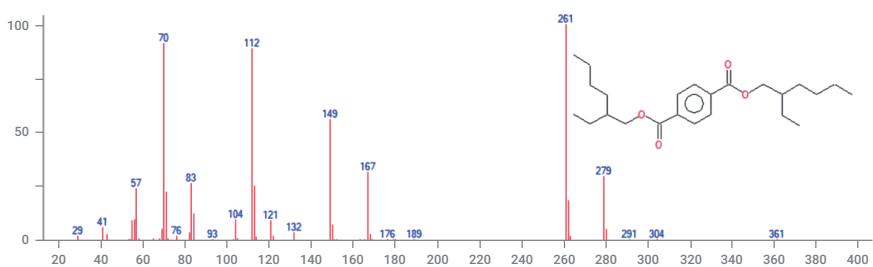
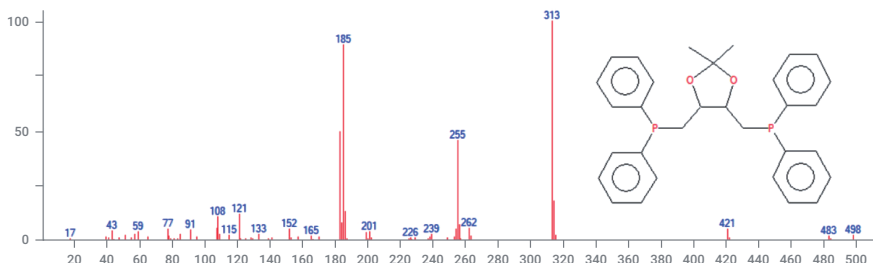
インテリジェントに接続された最新の GC システム



安定した信頼性の高い品質を実現できるソリューション

半導体産業の有機分析ソリューション - 一般的なケース 1

- 未知不純物の同定に役立つ高分離能、高感度なクロマトグラフィーと質量分析
- プロピレングリコールメチルエーテル (PGME) / プロピレングリコールメチルエーテルアセテート (PGMEA) 中の不純物の定量的制御



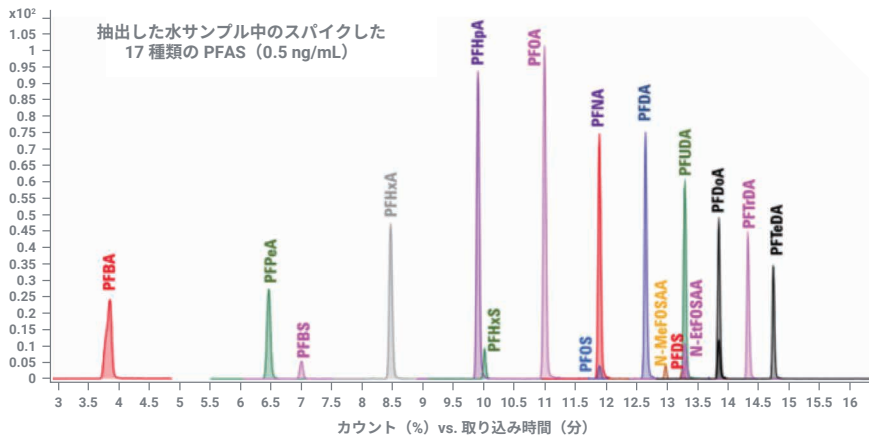
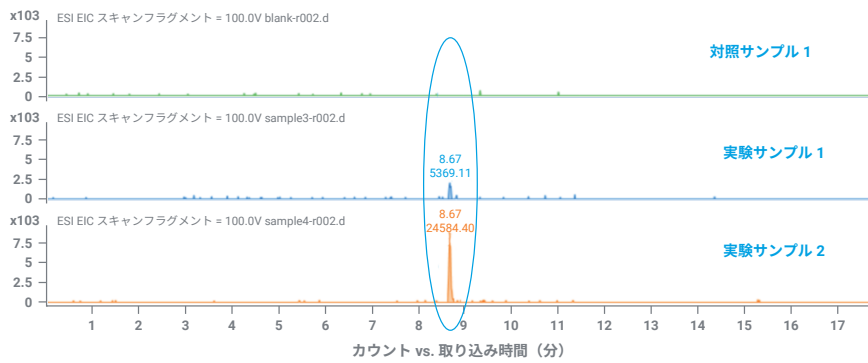
7250 GC/Q-TOF



7000 GC-QQQ

半導体産業の有機分析ソリューション - 一般的なケース 2

- 浸漬 ArF フォトレジストから水中への物質移行の調査
- フォトレジストにおける有害な移行の原因となる主な物質は光酸発生剤 (PAG) であり、その主要アニオンは PFAS 化合物です
- 過剰な量の物質が移行すると、(透かし効果や T トッピング効果などにより) 歩留りが低下し、リソグラフィ装置のレンズが破損する可能性があります
- LC-QQQ を PPAS 酸発生剤の定性/定量分析に使用できます



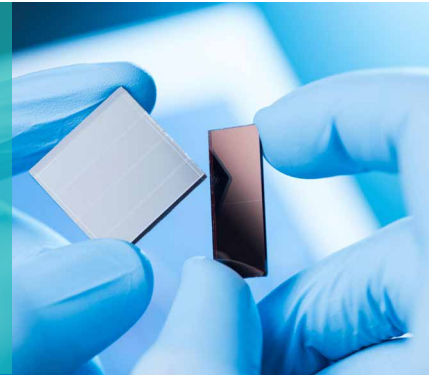
装置



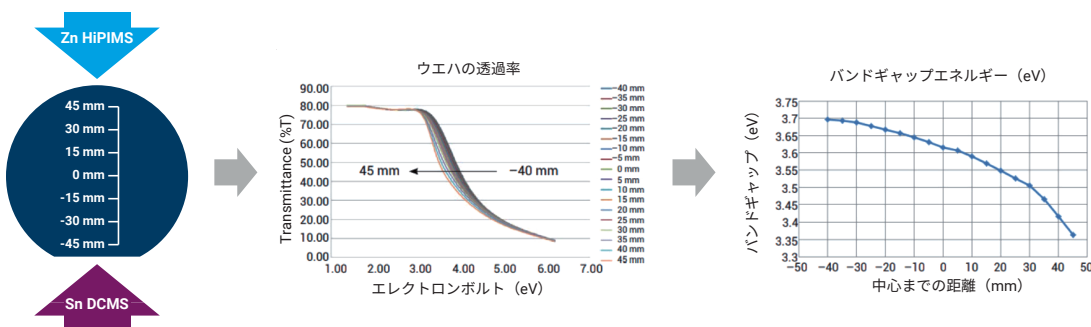
消耗品



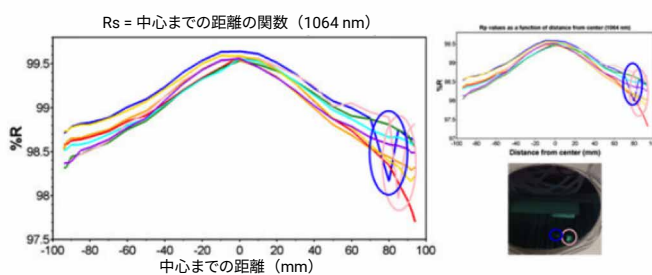
半導体材料の光学性能分析



- CPU、RAM などの端末装置の、被覆ウエハの透過/拡散/反射光学性能試験
- ウエハ被覆層表面の光学性能の特性解析と、被覆層の均一性の評価
- 光学性能試験の結果は、被覆層プロセスにおける潜在的なばらつきの特定と克服に使用されます



- Agilent Cary 7000 多角度可変自動測定分光光度計 (UMS) とソリッドオートサンプラを使用して、被覆層ウエハの光学性能を分析できます
 - ・ 蒸着方向の回路図とウエハの方向の座標系。Sn には DCMS 蒸着、Zn には HiPIMS 蒸着が使用されます。-40 ~ 45 mm 間隔の分光光度計には 5 mm 間隔を使用して、ウエハ直径全体で 11 か所の透過スペクトルを取得します。
 - ・ 透過スペクトルの取り込みにより、ZTO 基質のバンドギャップエネルギーがウエハの直径範囲全体にマッピングされます。
 - ・ データにはいくつかの相違点が見られます。例えば蒸着プロセスによりウエハ頂点の Zn 濃度が最も高くなるため、周波数が最も低くなります。



Agilent Cary 7000 多角度可変自動測定分光光度計 (UMS)

- Cary 7000 UMS を使用して、1064 nm で光学ウエハの反射率試験を実施しました。
- 光学ウエハの測定ポイントから中心までの距離をプロットしました。結果は次のとおりです。
 - ・ ウエハの中心から端に向かうにつれて、反射率が低下しています。異なる曲線間の類似性と一貫性が高いことは、ウエハの光学的等高線が中心対称であることを示しています。
 - ・ その後の目視検査で、ウエハ表面の汚染により、90° スtringの 80 mm 直径と 67.5° Stringの 85 mm 直径の Rs と Rp が異常値を示すことがわかりました。

真空ソリューション



半導体メーカーと上流サプライヤの産業チェーン全体で利用されています。提供している製品は、真空ポンプ（オイルポンプ、ドライポンプ）、リークディテクタ、真空ゲージ、真空チューブアクセサリ、バルブです。アプリケーションの範囲は次のとおりです。

- 半導体製造、梱包用装置、検出装置
- 結晶成長/拡張装置
- 高純度ガスクューブの試験と安全保証
- センサ気密性試験

真空ポンプ

アジレントは、多くの有名ブランドの質量分析計に対応した真空システムをご用意しています。アジレントはオイルフリー検出装置のリーダーとして、GC/MS、GC/QQQ、LC/MS の各システムでオイルフリー真空ポンプを使用してきました。また同時に、ラボや多くの産業アプリケーション向けに、低真空、高真空、超高真空の真空発生/測定機器を数多く提供してきました。

真空リーク検出

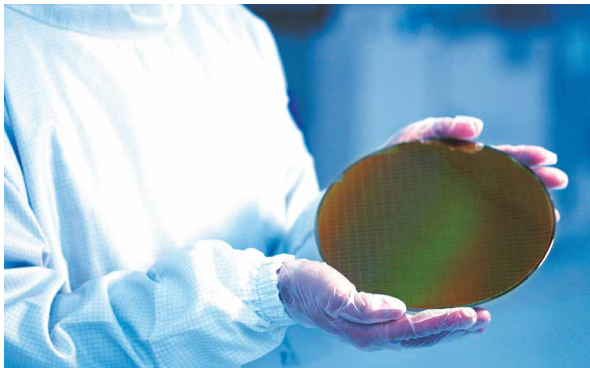
HLD リークディテクタは、使いやすいカラータッチスクリーンやインテリジェントで高度なエキスパートシステムと組み合わせて使用できます。ドライリークディテクタとドライフォアラインポンプは持ち運びとメンテナンスがしやすく、高頻度なヘリウムガスリーク検出に必須のツールです。

真空測定

アジレントは、大気圧から UHV/XHV で真空を正確かつ確実に制御および測定できる、アクティブ/パッシブ真空ゲージおよびコントローラを多数ご用意しています。例えば、熱電対真空計（TC）、B-A（TA）、ピラニ、逆マグネトロン（IMG）、熱フィラメントアイロンゲージ（HFIG）真空ゲージなどの製品があります。アジレントの真空コントローラはアジレントおよび同業メーカーの真空ゲージに対応しており、最大 12 チャンネルを処理できます。アジレントのコントローラは、Profibus、イーサネット、RS-232/485 などの複数の通信ポートを備えています（その他のポートも必要に応じてリクエストできます）。



半導体アプリケーションでの無機不純物



ウエハと半導体材料の不純物分析

ウエハ、CMP スラリ、相互接続、REE 材料、フォトレジスト化学薬品に含まれる微量濃度の汚染物質をモニタリングして制御することは非常に重要です。

[詳しくはこちら](#)



半導体プロセス薬品不純物分析

微量濃度の汚染物質が、製造に悪影響を及ぼします。半導体プロセス薬品中の不純物分析の試験の詳細をご覧ください。

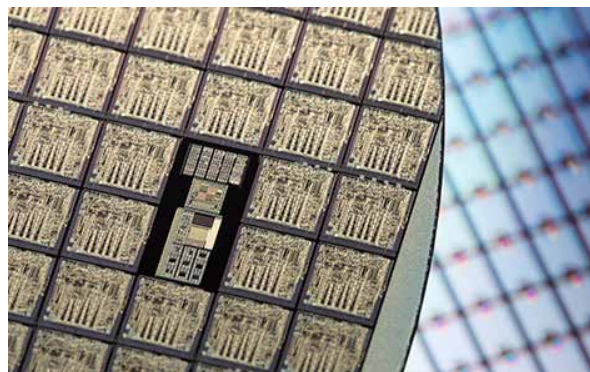
[詳しくはこちら](#)



電子ガスの不純物分析

半導体不純物試験において電子ガスを直接分析するための、新しく効率的でシンプルな方法をご紹介します。

[詳しくはこちら](#)



半導体の粒子分析

バルク試薬、およびウエハの処理槽と洗浄槽に含まれる金属ナノ粒子 (NP) と溶解金属のモニタリング用ソリューション。

[詳しくはこちら](#)

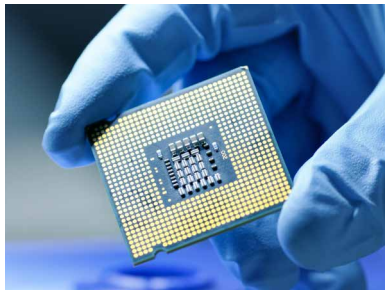
半導体とエレクトロニクスの試験アプリケーション



半導体の無機不純物

ウエハ、スパッタリングターゲット、プロセス薬品、フォトレジスト、電子ガスに含まれる微量および超微量濃度の金属汚染物質をモニタリングして制御します。

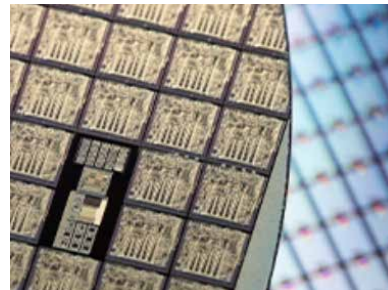
[詳しくはこちら](#)



半導体の有機不純物

微量濃度の有機不純物の分析には、アジレントの業界最先端の装置とアプリケーションをご利用ください。

[詳しくはこちら](#)



半導体の粒子分析

バルク試薬、およびウエハの処理槽と洗浄槽に含まれる金属ナノ粒子（NP）と溶解金属のモニタリング用ソリューション。

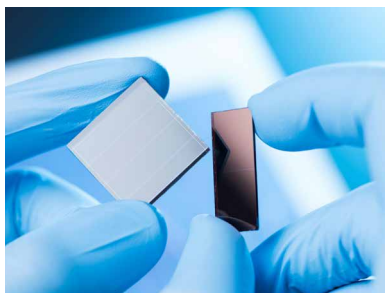
[詳しくはこちら](#)



材料の環境・衛生・安全上の コンプライアンス

アジレントは、環境・衛生・安全（EHS）試験技術の提供により、業界が EHS 規制を確実に遵守できるように支援しています。

[詳しくはこちら](#)



フォトンクス/オプトエレクトロニクス機器 および部品の分析

Agilent UV-Vis および UV-Vis-NIR 分光光度計は、フォトンクス機器および部品に最適なフォトンクス試験/測定ソリューションです。

[詳しくはこちら](#)



半導体とエレクトロニクスにおける真空 およびリーク検出

真空ポンプと真空ゲージ、および正確で堅牢性が高く使いやすいリークディテクタにより、分析にかかる時間とコストを削減できます。

[詳しくはこちら](#)

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタムコンタクトセンター

0120-477-111

email_japan@agilent.com

本製品は一般的な実験用途での使用を想定しており、
医薬品医療機器等法に基づく登録を行っていません。
本文書に記載の情報、説明、製品仕様等は予告なしに
変更されることがあります。

DE. 89595162

アジレント・テクノロジー株式会社

© Agilent Technologies, Inc. 2022

Printed in Japan, August, 2022

5994-4747JAJP