

Application Note

キーワード

- ・アルゴンプラズマ
- ・水素ガス
- ・シースガス

技術

- ・発光分光分析
- ・元素分析

アプリケーション

- ・プラズマモニタリング
- ・エンドポイント検出
- ・半導体プロセス制御

高分解能小型分光器によるプラズマモニタリング

Written by Yvette Mattley, PhD

オーシャンオプティクス社製 HR2000+ 高分解能ファイバマルチチャンネル分光器を用いたモジュール式分光システムで、異なる種類のガスをプラズマチャンバに導入して変化するアルゴンプラズマ発光をモニタリングしました。測定は密閉した燃焼チャンバ内で、チャンバ観測窓越しにファイバとコサインコレクタを接続した分光器で行いました。プラズマチャンバからリアルタイムでプラズマ発光スペクトルを獲得する場合、モジュール式分光用コンポーネントを用いた測定が十分に可能であることが分ります。これらの発光スペクトルから推測される特性はプラズマを用いたプロセスのモニタリングと制御に役立てることができます。

背景

プラズマは、一部の原子が励起またはイオン化して自由電子やイオンを形成する、励起したガス状の状態です。励起した中性な電子が基底状態に戻ると、プラズマに存在する原子固有の波長でプラズマが発光します。発光のスペクトル特性を用い、プラズマの構成を判断することができます。プラズマで原子をイオン化するために、熱、高出力レーザー、電子レンジ、電気、ラジオ周波数など、幅広い種類の高エネルギー手法が用いられます。



プラズマモニタリング

プラズマは、元素分析、膜蒸着、プラズマエッチング、表面清浄といった様々なアプリケーションに利用されます。プラズマサンプルから測定した発光スペクトルでプラズマモニタリングをすることで、サンプルの元素を詳細な分析や、プラズマプロセス制御に必要なパラメータの判断が可能です。輝線の波長はプラズマ内の元素が輝線強度からは粒子と電子の密度がリアルタイムで明らかになり、プロセス制御に役立ちます。

ガスの混合、プラズマ温度、粒子密度などのパラメータは全てプラズマプロセス制御に必須です。様々なガスや粒子をプラズマチャンバに導入する場合、このようなパラメータの変化により、プラズマ特性も変化し、プラズマと基板の相互作用が影響を受けます。プラズマをリアルタイムでモニタリングと制御が可能になれば、プロセスと製品の向上につながります。

その一例が、プラズマベースエッチングのプロセス制御における、プラズマモニタリングの重要性です。半導体業界ではリソグラフィ技術を用いてウェーファアの製造と操作を行います。エッチングはリソグラフィ技術の主要なプロセスで、指定した正確な厚みで原材料をレイヤー化することが可能です。ウェーファア表面にレイヤーをエッチングする際、ウェーファアのレイヤーのエッチングを続けて測定し、いつ特定のレイヤーのエッチングが完全に終了し、次のレイヤーに至ったかを確認する事ができます。エッチング中にプラズマから生成される輝線をモニタリングすることで、エッチングプロセスを正確に観察できます。プラズマモニタリングによるこのようなエンドポイント検出は、プラズマベースのエッチング加工で半導体原料を製造する場合には不可欠です。

プラズマモニタリングは、HR2000+ のような高解像度分光器を組み合わせたフレキシブルなモジュールタイプのシステムもしくは、Ocean Optics のプラズマモニタリングシステム、「PlasCalc」のような一体化システムを使用して行う事が可能です。モジュール式システムの場合、HR2000+ 分光器を耐 UV ソラリゼーション光ファイバと接続し、プラズマチャンバで生成されるプラズマから定性的な発光データを獲得することができます。プラズマ制御に定量的な測定が望ましい場合は、高性能プロセス制御システムと最先端のデータ獲得アルゴリズムを備えた、一体型の PlasCalc システムをお使い頂けます。

注：イラスト中の比率は実際とは異なります。



図1：モジュール式分光器によるシステムは、真空チャンバ内のプラズマ測定に適した構成に調整することができます。

チャンバ内で形成されるプラズマのモニタリングを行う際に考慮すべき重要な点は、サンプリングチャンバとのインタフェースです。測定コンポーネントを真空チャンバ内に差し込むことも、観測窓からプラズマを観測することも可能です。真空フィードスルーか、チャンバ内の過酷な状態に耐えられるカスタムファイバを用いて、コンポーネントをプラズマチャンバに連結することができます。観測窓からプラズマをモニタリングする場合は、測定を行うプラズマフィールドの大きさによって、コサインコレクタやコリメートレンズのようなサンプリングアクセサリが必要な場合もあります。サンプリングアクセサリを使用しない場合、ファイバからプラズマまでの距離によって測定エリアが決まります。測定エリアを狭めたい場合には、ファイバにオーシャンオプティクス社製の 74-UV のようなコリメートレンズ (f/2 石英ガラスレンズ) を接続することを。180° を超える視野から光を測定したい場合には CC-3-UV (スペクトラロン、PTFE から選択) のようなコサインコレクタもお使い頂けます。

測定条件

高分解能ファイバマルチチャンネル分光器 HR2000+ を用い、プラズマチャンバに他のガスを導入した場合のアルゴンプラズマの発光の変化を測定しました。チャンバの外から小さい観測窓を通して発光スペクトルを取得するコサインコレクタと、ファイバ、分光器で、密閉型燃焼チャンバ内のプラズマスペクトルを測定しました (図 1)。

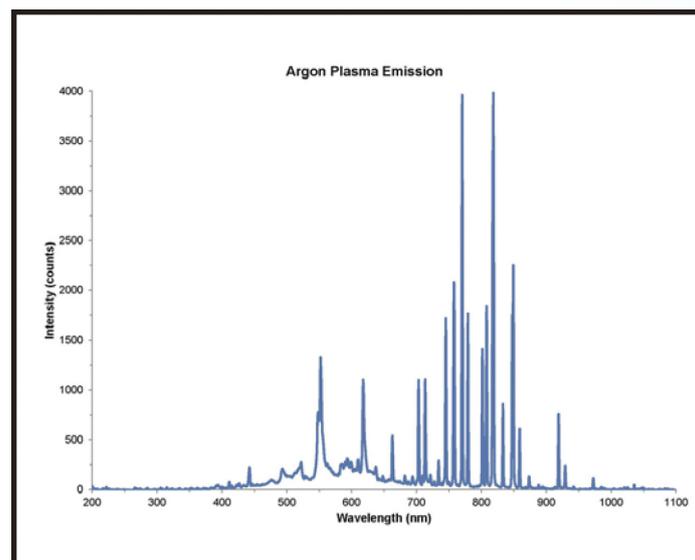


図2：真空チャンバ観測窓から測定するアルゴンプラズマの発光

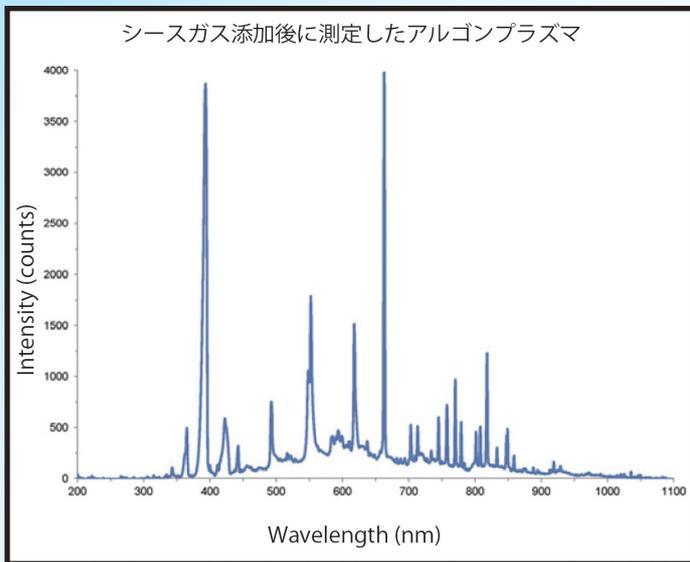


図3：アルゴンプラズマに水素ガスを加えると、スペクトル特性が変化する

200～1100nmの発光測定用に設定した高分解能ファイバマルチチャンネル分光器 HR2000+ (FWHM光解像度～1.1nm、Grating HC-1,SLIT-25) にコサインコレクタ (CC-3-UV) を耐UVソラリゼーションファイバ (QP400-1-SR-BX ファイバ) で接続しました。プラズマの強力なUV光によるファイバの劣化を避けるために耐UVソラリゼーションファイバを選択しました。プラズマ強度の不均一性や、観測窓の不均質な付着物に対応するため、CC-3-UV コサインコレクタサンプリングアクセサリを用いてプラズマチャンバの測定を行います。

結果

図2はプラズマチャンバの観測窓からアルゴンプラズマを測定したスペクトルです。690-900nmの波長域に見られる高いスペクトルは中性アルゴン (Ar I) の輝線で、それよりも低い400～650nm波長のスペクトルは一価にイオン化されたアルゴン原子 (Ar II) によるものです。図2の発光スペクトルは、プラズマ発光を測定した情報に富んだスペクトルの良い例です。このスペクトル情報を利用して、薄膜体積のようなプラズマベースのプロセスモニタリングと制御や、半導体製造時のエンドポイント検出などに不可欠な、様々なパラメータを測定することができます。

水素はプラズマの特性を変更するためにアルゴンプラズマに加えることができる二次ガスです。図3では、水素をアルゴンプラズマに加えた効果が、水素濃度の増加という結果で示されています。アルゴンプラズマの特性を変化させる水素の作用は、水素濃度の増加が350～450nmの波長域で水素の輝線に

反映されているため、700～900nmの波長域でアルゴン輝線強度の減少が見られます。このスペクトルから、二次ガスがプラズマ特性に与える影響をモニタリングする上で、リアルタイムにプラズマ発光を測定する有用性は明らかです。測定したスペクトルの変化を元に、求めるプラズマ特性を得るためにどの程度の二次ガスをチャンバに加えればよいか、予想することができます。

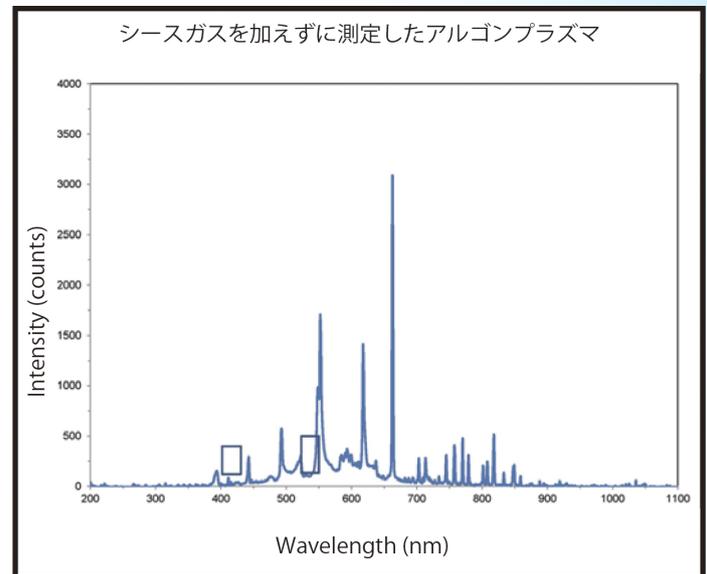


図4：シースガスを加える前のアルゴンプラズマ発光を真空チャンバで測定する

図4と図5ではシースガスをチャンバに加える前と後に測定したプラズマ発光スペクトルが示されています。シースガスはサンプルインジェクタとサンプル間の接触を減らし、サンプルの堆積と繰り越しを防ぐために使用されます。図4では、シースガスの添加前のアルゴンプラズマ発光スペクトルが示されています。図5はシースガス添加後のスペクトルです。図4と図5に見られるように、シースガスを添加すると、400nm以下と～520nmの波長域で広いスペクトルが消えアルゴン発光スペクトルは変化します。

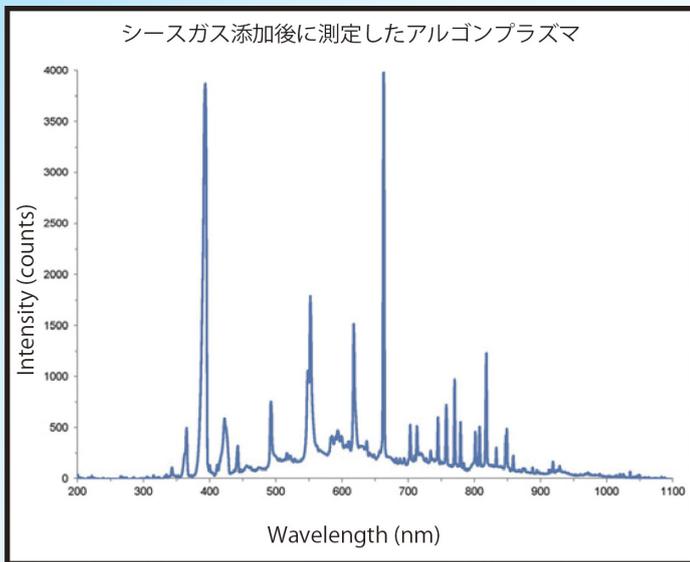


図5：シースガスの添加により、アルゴン発光特性は400nm以下と～520nmの波長域で明らかに変化しています。

結論

全ての成分が200-1100nmの波長域で発光するため、UV-VIS-NIR分光分析は、プラズマプロセスの元素分析や精密制御を実現するプラズマ発光測定の強力な手段となります。本ドキュメントで示したデータから、プラズマモニタリングにおけるモジュール式分光測定方法の有用性は明らかです。HR2000+ 高分解能ファイバマルチチャンネル分光器とモジュール式の分光分析アプローチは、チャンバ内の状態の変化に従って、プラズマチャンバ観測窓からプラズマ発光スペクトルを測定するためには最適です。



Ocean Photonics

オーシャン フォトニクス 株式会社

営業部 オーシャンオプティクス課
東京都新宿区西早稲田 3-30-16

TEL : 03-6278-9470

E-mail : sales@oceanphotonics.com

URL: <http://www.oceanphotonics.com>

