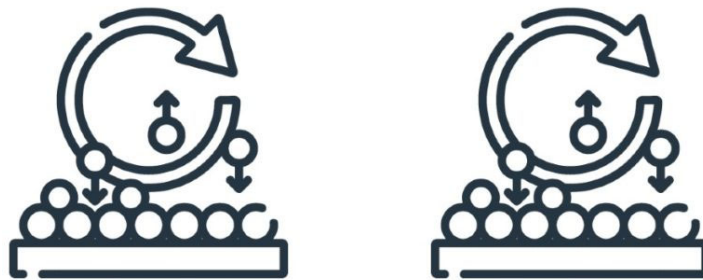


Application Note

pgaTOF EI-TOFMS による原子層蒸着プロセスのモニタリングと特性評価



はじめに

原子層堆積 (ALD) は、急速に幅広い薄膜材料の標準技術となりつつあり、半導体分野では不可欠なツールです。ALD は、シーケンシャル モードでの 2 つのガス状反応物の自己制限的な表面反応によって、複雑な 3D 形状の基板上でも薄膜の厚さと適合性をサブナノメートルで制御します。堆積膜の物理化学的特性は、主に表面の分解反応と成長メカニズムに依存します。したがって、これらのプロセスを十分に特徴付けて理解し、プロセスの最適化サイクルを短縮し、生産現場でのリアルタイムモニタリングと制御を提供する計測ツールを利用することが重要です。

ALD 向け半導体プロセスソリューション

このアプリケーション ノートでは、薄膜製造プロセスのリアルタイムモニタリングについて説明します (ALD システム : スイス、トゥーンの Swiss Cluster AG 製 SC-1)。

TOFWERK **pgaTOF** は、高い質量分解能、 10^5 以上のダイナミックレンジ、最大 1kHz での質量スペクトル取得速度で、イオン化されたすべての分子を同時に検出します。

化学データの取得は常時現場で行われるため、適用された堆積パラメータの結果を即座にモニタリングでき、温度やパルス/パージ時間などのプロセス実験条件を即座に変更できます。さらに、最適なプロセス条件からの逸脱や装置の故障も検出されます。TOFWERK **pgaTOF** を使用したこのオンサイトでのデータ取得は、大幅な遅延を必要とするオフサイト(現場外、事後)での化学的および構造的な特性評価手法に比べて、大きな利点となります。

実験のセットアップ

ALD プロセスは、ALD と PVD を組み合わせた新しいコンパクトクラスターシステム SC-1 を使用して実行されました。この実験では、SC-1 の ALD モジュールのみを使用しました。基板温度は 120°C に設定しました。トリメチルアルミニウム、 $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ (TMA、純度 98%、Strem 製)、および DI H₂O を使用しました。これら 2 つのプリカーサーガスは、モデル ALD システムである Al_2O_3 の堆積に一般的に使用されます。このプロセスの化学は多くの研究で広く分析されており、この研究で示された結果の評価に役立っています。両方のプリカーサーは室温で堆積チャンパーに供給され、純度 99.9995% のアルゴン (Air Liquide 製) がパージガスとして使用されました。

実験は 20 回の ALD サイクルで構成されました。各サイクルには、TMA の 50ms パルスと H₂O の 30ms パルスが含まれ、目的のガスのみがチャンパーに導入されることを意図して Ar キャリアガスは使用されませんでした。プリカーサーガスのパルス間に 50sccm のアルゴンガスパージが 30 秒間にわたって供給されました。

結果

ALD では、図 1 に示すように、連続的に導入されたプリカーサーガスと表面との反応により副生成物の放出が起きました。これらの副生成物の化学的性質と量は、基本的な反応機構に関する重要な情報を提供し、生産規模での信頼性と再現性のあるプロセスのモニタリングプロトコルの開発に関する洞察を与えます。

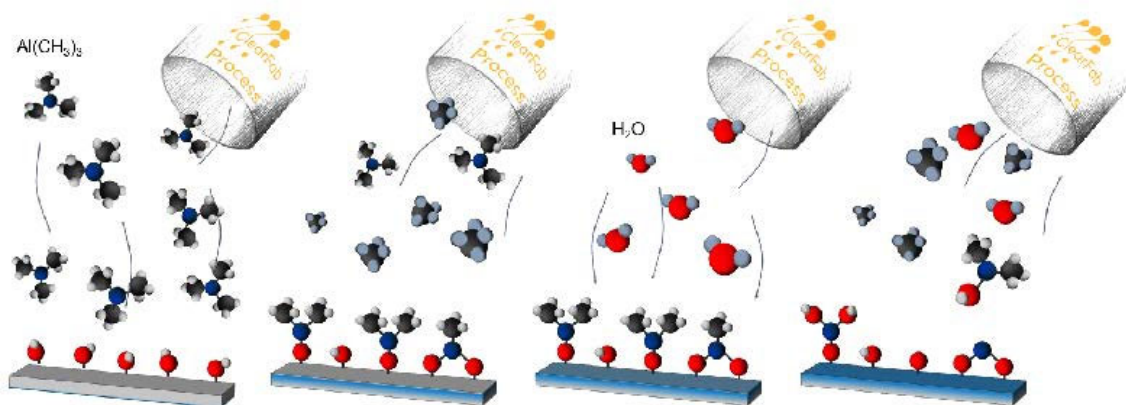


図 1

TMA と H₂O を使用した Al_2O_3 の堆積は、TMA Al (27Th)、H₂O (18Th)、副生成物 CH₄ (16Th)、および Ar キャリアガス (40Th) に対応する、主に $m/Q = 16\text{Th}$ 、18Th、27Th、40Th で測定されたスペクトル分布に基づいて特徴付けることができます。

さらに図 2 に示すように、TOFWERK **pgaTOF** の全質量範囲同時検出、高い質量分解能と精度は、これまで検出できなかったさらなる副生成物の観察をも可能にします。

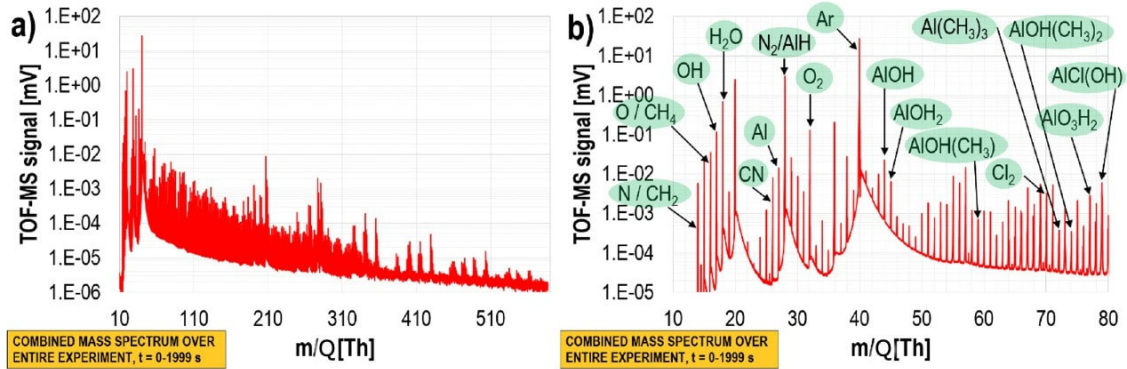


図 2

TOFWERK **pgaTOF** が提供するもう 1 つの重要な機能は、図 3 に示すように、リアクター内に存在するすべての種の時間変化をモニターできることです。

図4は、27Al のタイムトレンド測定の特徴的な値、つまり TMA バルブが開いているときの 27Al 信号のピーク強度とその半値全幅(FWHM)を示しています。

これら 2 つの値の変動は、送達された TMA の量がサイクル間で変動したことを示しています。

ALD プロセスは自己制限的であり、過剰な TMA プリカーサーによって層厚が増加することはありませんが、プリカーサーの消費量は最適化できます。

対照的に、ヘテロ構造の堆積が目標である場合、プリカーサーの量が少ないと部分的なモノレイヤーの堆積が生じ、表面形態が粗くなり、界面が理想的とは言えなくなります。

そのため、TOFWERK **pgaTOF** を使用して可能になる、ALD プロセスサイクル間の再現性のリアルタイム定量測定は、R&D と生産の両方においてプロセス最適化の面で重要になります。

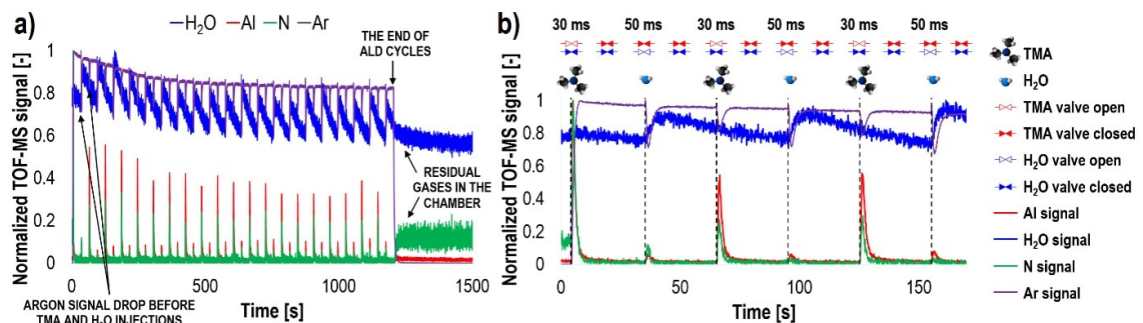


図 3

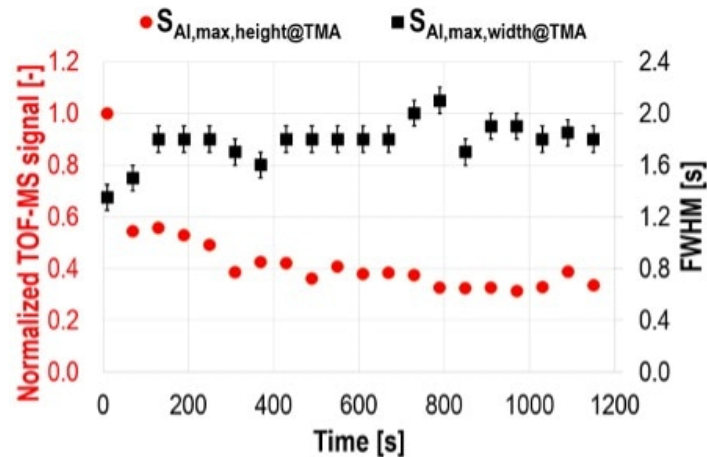


図 4

結論

このアプリケーション ノートで説明されているように、ALD システム内に TOFWERK **pgaTOF** を組み込むと、すべてのイオン化分子とフラグメントを同時にリアルタイムで検出できます。したがって、プロセスの最適パラメータからの逸脱や誤動作を早期に発見でき、その結果、プリカーサー温度、パルス幅、圧力などの堆積パラメータを即座に修正して、意図した薄膜化学構造を確実に堆積させることができます。

ALD プロセス向けの TOFWERK 半導体プロセスソリューションの利点は、CVD などの他の堆積技術や、エッチング アプリケーションのプロセスの最適化、モニタリング、コントロールにも拡張されます。

エンドポイントディテクションでは、二元、三元、四元合金を含む遷移のような複雑なインターフェースに対しても実施されます。

さらに、高いデータ取得速度は、パルスモードで動作するソースや、ナレイヤーの堆積やエッチングを伴うプロセスにとって非常に有効です。

TOFWERK **pgaTOF** は、複雑なガス環境における化学種を正確に割り当て、その時間変化を測定する必要がある他の半導体プロセスのモニタリングツールとして広く適用できます。

TOFWERK 株式会社

japan@tofwerk.com