

新連載 **半導体製造装置 材料最前線**

～ Lam Research と NIMS 共同研究の視点～

第4回

## ～原子レベルの機構へ突入～

スマートフォンや自動車など現代社会を支える電子機器には、極めて微細な回路を刻んだ半導体チップが欠かせません。そのチップを作るエッチング装置の内部では、材料をめぐる大きな変化が起きています。

エッチングとは、高エネルギー状態のガス「プラズマ」を使ってシリコンなどを削り、回路パターンを形成する工程です。装置内部の部品はプラズマや化学薬品に長時間さらされ続けます。

現在では「3ナノメートル(3nm)」という原子数個分の幅しかない回路の量産が進んでおり、装置内部のわずかな不純物や粒子が製品の欠陥に直結するため、材料への要求水準は年々厳しくなっています。

かつては「丈夫で長持ちするか」「加工しやすいか」という観点で材料が選ばれていました。

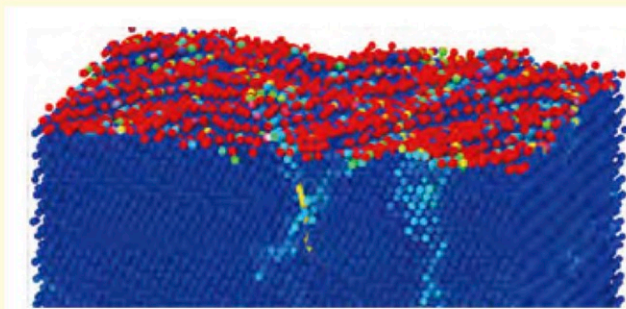
しかし今や、材料がプラズマの中でどのように変化し、どのような経路で劣化が進

むのかを「原子スケール」で理解しなければ、次世代装置が求める性能には届かない時代になっています。

## 「なぜ劣化するか」を原子の目で

こうした背景から注目されているのが、原子レベルのシミュレーション技術です。従来の材料開発は候補材料を実際に試験する方法が主流でしたが、先端ノードの開発スピードには追いつきにくくなっています。そこでコンピューターで材料の原子スケールの振る舞いを計算・予測するシミュレーションが開発現場に入り込んできました。

このシミュレーションが明らかにするのは、プラズマや化学薬品にさらされた



エッチング装置における材料とプラズマの相互作用下での原子レベル進化過程のシミュレーション…外場作用のもとで表面原子が移動・再配列し、欠陥が徐々に形成され内部へと拡張する(筆者提供)

き、表面でどんな反応が起き、どこに欠陥が生まれ、その欠陥がどう広がるかという「動的な変化の過程」です。例えば、ある材料では欠陥が内部へと広がり全体が劣化します。別の材料では変化が表面にとどまり、早く安定した状態に落ち着きます。こうした原子スケールの差が、最終的に装置全体の安定性と製品の品質を左右します。

プラズマ対向材料の変遷もこれを示しています。かつての主流「酸化アルミニウム( $Al_2O_3$ )」から「酸化イットリウム( $Y_2O_3$ )」などの希土類酸化物へ、さらに「YAG

(イットリウム・アルミニウム・ガーネット)」などより安定性の高い体系への移行が進んでいます。この材料進化を後押ししているのが、原子レベルシミュレーションによる機構理解にほかなりません。

## 「理解してから作る」時代へ

米国の半導体製造装置大手ラム・リサーチと日本の物質・材料研究機構(NIMS)の共同研究チームは、プラズマ対向材料の機構研究を継続的に進めています。

東北大学の陳茜博士は、希土類酸化物材料がプラズマ・化学環境下でどのように欠陥が生じ、構造が変化するかについての理論シミュレーションする研究を担っています。材料表面を「反応界面」として捉え、原子の動き・再配列・欠陥形成を計算することで、材料ごとの安定性の差異とその根本原因が明らかになります。

装置メーカーにとって、このシミュレーションは現象の説明にとどまらず、次世代部品にどの材料を採用すべきかを示す指針となります。シミュレーション、材料製造、装置内での実証という三者が連携を強め、材料開発は「まず試して理解する」から「先に理解してから作る」へと変わりつつあります。

半導体製造を支える材料の世界は今、原子の振る舞いを読み解くことで次のステージへと歩み始めています。

(この連載は横浜のTNPパートナーズが協力しています)

【執筆者紹介】達博(Da Bo)博士…物質・材料研究機構(NIMS)主任研究員、Lam Research-NIMS共同研究プロジェクト責任者。半導体製造装置用高性能材料の研究に長年従事。日立財団および米国Lam Researchの支援のもと、NIMSにおいて材料開発・部材作製から装置レベルの検証までを貫く研究開発体制を構築。本連載は、同チームがLam Research-NIMS共同研究の視点から執筆する。

