



応用物理学会秋季学術講演会 注目講演プレスリリース

2022年 9月 14日

高スループット SiN ALE を実現する表面反応メカニズムの解明
Surface Reaction Mechanisms to Realize High-throughput SiN ALE

来たる原子スケールの半導体製造を支えるエッチング技術 「高スループットSiN ALE」、実現へ一手

ソニーセミコンダクタソリューションズ(株)(1)、阪大院工(2)
平田 瑛子(1)、深沢 正永(1)、釘宮 克尚(1)、萩本 賢哉(1)、岩元 勇人(1)
J. U. Tercero(2)、唐橋 一浩(2)、浜口 智志(2)

【発表概要】

- ・ 「SiN ALE」（窒化シリコンの原子層エッチング）において、高イオンエネルギーを用いる手法により、アルゴン脱離ステップのプロセス時間を1/5に短縮する「高スループットSiN ALE」を実証。
- ・ 「高スループットSiN ALE」と従来のALEのエッチングの特性評価を行い、時短を実現しながらもエッチング特性が同等になることを確認。
- ・ 同研究は、次世代半導体の製造を支える技術革新であり、製造工程の時間短縮、低コスト化につながる可能性がある。

平田 瑛子、深沢 正永、釘宮 克尚、萩本 賢哉、岩元 勇人（ソニーセミコンダクタソリューションズ(株)）およびJ. U. Tercero、唐橋 一浩、浜口 智志（阪大院工）らによる研究グループは、次世代の半導体製造技術として待望されている「SiN ALE」（窒化シリコンの原子層エッチング）に高イオンエネルギーを用いる手法で、アルゴン脱離ステップのプロセス時間を1/5に短縮する「高スループットSiN ALE」を実現、そのエッチング特性評価を行った。結果、高イオンエネルギー化を行うことで、プロセス時間を短縮しながらもエッチング量はほぼ従来のALEと同等であった。さらに、エッチング量のサイクル数依存性もほぼ同等であり、EPC (Etched amount Per Cycle：サイクルごとのエッチ量)も約0.5nm/cycleと安定であったことが確認された。本研究は超高精度加工が求められる近年の半導体製造において実用化が待望されるSiN ALEに関する画期的な発見であるとともに、これからの原子スケールの半導体製造を支える技術革新である。

【詳細】

ムーアの法則の先にある次世代半導体を支える製造技術をつくる

半導体における集積密度が18~24ヶ月で2倍になるーインテル創業者のひとり、ゴードン・ムーア博士が提唱したことで広く知られる経験則「ムーアの法則」は、長い間半導体技術開発の指針となり、その実現のために半導体素子は微細化を進めてきた。しかしムーアの法則はすでに破綻しているという見方もある。それは半導体の微細化が、ムーアの法則の終着点ともされる、物質の最小単位である原子サイズへ迫っているからだ。近年の半導体プロセスでは10ナノメートル以下への微細化が進められているが、その先にあるのは原子レベル半導体の実現である。

半導体の微細化は、半導体製造プロセスすべての技術革新の積み上げによって実現される。ソニーセミコンダクタソリューションズの平田瑛子氏らの研究グループは半導体のさらなる微細化を支えると期待されているエッチング工程における新技術「ALE (Atomic Layer Etching)」における高スループット化を実現する技術を報告している。

半導体デバイスの心臓部は、シリコン単結晶でできた薄い板「ウェハ」上に回路パターンを転写することによって出来上がる。そのメインとなる工程が、ウェハへ微細な回路パターンを転写する「リソグラフィ」と、そのパターン通りに材料を加工する「エッチング」であり、半導体製造の前工程に位置づけられている。現在、原子スケールでエッチングができる新技術として、ALEが構想されている。平田氏らの研究グループは、「SiN ALE」を実際に構築し、産業化において欠かせない高いスループット化に向けた技術を確認、作業工程の時間を大幅に短縮することに成功した。

次世代のエッチング技術SiN ALE、高速化・低コスト化で普及へ結びつける

SiN ALEの工程は大きく分けてポリマーにより反応層を形成させる「吸着」、プラズマによる反応層の「脱離」、そして吸着ステップの残留ポリマーを除去する「アッシング (有機物除去)」の工程からなる (図1)。平田氏らの研究における成果は、主に「脱離」プロセスにかかる時間の短縮である。

「これまでに論文等で構想されている従来のALEでは、吸着ステップに数秒、脱離ステップに10秒から数分かかることが分かっています。実際の製造工程ではこのプロセスを数十サイクル行うことから、ひとつの半導体デバイスのエッチングに10分以上の時間がかかることとなります。製造の低コスト化実現に向けて、処理時間の短縮が課題となっています」 (平田)

従来のALEでは、脱離ステップで低イオンエネルギーによる長時間処理 (E_{ion} :100-280 V、10秒) が行われており、それが作業工程の時間短縮におけるボトルネックになっていた。そこで平田氏らの研究グループは、高イオンエネルギーでの短時間処理による高スループットALE (E_{ion} :140-900 V、2秒) を導入し、その評価を行った (図2)。

その結果、エッチング量（脱離した物質の量）を見てみると、高スループットALEの場合でも、ほぼ従来のALEと同等のエッチング領域があることが分かったという。さらに、サイクル数依存性によるエッチングの特性評価を行ったところ、従来のALEと高スループットALEの間で大きな差は見いだせなかったという。これらの結果により、高イオンエネルギー化することで、エッチングの特性は変化させず、脱離ステップにかかる時間を1/5に短縮（10秒から2秒）できることを明らかにした。

「従来のALEは処理時間が長く生産性や高コストが大きな課題でした。しかし脱離ステップにかかる時間を短縮できれば、製造工程全体の処理時間を大幅に短縮でき、低コスト化できます。ALE技術が幅広く展開されることで、シリコン半導体プロセスの進化に大きく貢献できるのではないかと期待しています」（平田）

半導体デバイスの製造工程の短縮化・低コスト化は、スーパーコンピュータ等の開発において、性能向上と低コスト化に直接結びつく。高スループットALEは、これからの半導体製造において欠かすことのできない技術になるだろう。

【図】

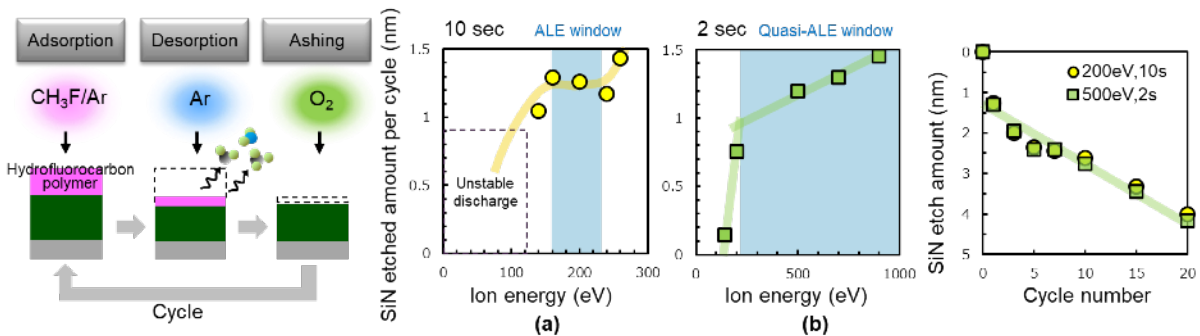


Fig. 1 SiN ALE process

Fig. 2 SiN etch amount for (a) long time with low ion energy and (b) short time with high ion energy.

Fig. 3 Cycle number dependence of SiN etch amount

図1. **SiN ALEの工程** CH₃F/Arのガスを用いて、プラズマ化し、ハイドロフロロカーボンポリマーの吸着層を吸着させる（Adsorption）。同時にハイドロフロロカーボンポリマーとSiNによる反応層ができる。次に、その反応層のみをアルゴンのプラズマによって脱離する（Desorption）。最後に、O₂プラズマによって残留ポリマーを除去する（Ashing）。

図2. 従来のALE(a)および、高スループットSiN ALE(b)における、イオンエネルギー（横軸）に対する、1サイクルあたりのエッチング量（縦軸）を示している。高イオンエネルギー化を行うことで、プロセス時間を短縮しながらもエッチング量はほぼ従来のALEと同等であることが分かる。

図3. SiNエッチ量のサイクル数依存性。サイクルの回数（横軸）とSiNエッチ量（縦軸）上にある従来のALE（黄色）と、高スループットSiN ALE（緑）がほぼ一致していることから、サイクル依存性がほぼ同等であることが分かる。