

6.12.6 数値制御大気圧プラズマ犠牲酸化法の開発

(1) 本加工法の特徴

犠牲酸化とは、後にフッ化水素酸等によって酸化膜を除去することを目的とした酸化のことであり、シリコンデバイス製造過程において、表面のダメージ層の除去や、汚染の除去、マイクロラフネスの改善等を目的として、一般的に用いられている。一般に、酸化には熱酸化炉が用いられている。市販されているシリコンウエハ用の熱酸化炉はウエハ全面において均一な酸化が行われるよう設計されており、ウエハ全面において均一な酸化が行われる。従って、後のフッ化水素酸処理によって、ウエハ表面層を均一に除去できる一方、必要なところを必要な量だけ除去することはできない。一方、本拠点では約 20 年前より、大気圧雰囲気中で発生させたプラズマを用いた、プラズマエッチングやプラズマ CVD の研究を行ってきた。大気圧という高圧力下でプラズマを発生させることで、高密度のラジカルを得られ、高能率なエッチングや高速成膜が実現できる。また、平均自由行程が小さい(ヘリウムで約 $0.1\mu\text{m}$)ため、プラズマが広がりやすく、電界強度の大きい場所にのみプラズマを局在化して発生できるため、この局在化したプラズマの滞在時間制御によって任意の形状加工を行うことも可能である。

このような背景の元、局在化させた大気圧プラズマを酸化源とし、基板表面の各場所におけるプラズマの滞在時間を制御して犠牲酸化を行うことで、表面を精密に加工することを着想した。その概念を図 6.12.40 に示す。まず、除去したいシリコンの厚さに応じた酸化膜分布を形成できるようにプラズマの滞在時間を制御しながら全面を酸化し、その後、フッ化水素酸処理によって酸化膜を除去することで、表面から所望の分布をもたせてシリコンを除去するものである。[6.12.6-1]

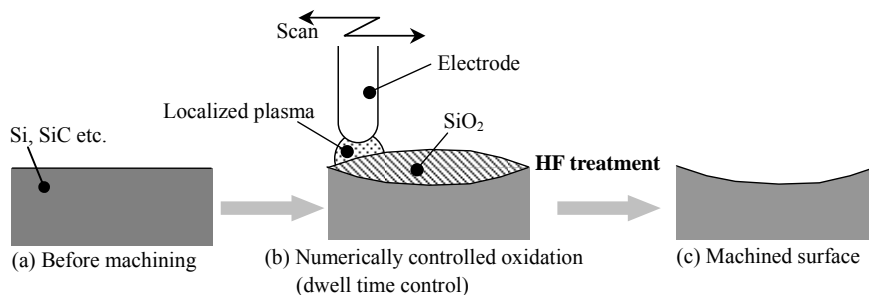


図 6.12.40 数値制御大気圧プラズマ犠牲酸化法の概要

(2) 本加工法の特徴

この方法は、他の除去加工法に対して、以下のように様々な利点を原理的に持っている。まず、機械的な加工方法に対しては、本加工法は化学反応を用いた加工法であり、加工面に損傷がない。また、非接触の加工法であり、加工量の制御は滞在時間によって行うため、外乱(熱や振動)の影響を受けにくく、高精度な加工が期待できる。このような特徴は大気圧プラズマを用いたエッチングとも共通するものであるが、大気圧プラズマを用いたエッチングに対しても以下のような利点がある。第一に、最終的な加工面はシリコン/酸化膜界面として形成されるため、プロセス中に汚染されることがない。第二に、エッチングに使用するようなフッ素系のガス(CF₄ や SF₆)を使用しない。これらのガスは地球温暖化係数の高いガスとして知られ、環境負荷の点から使用を控えるのが望ましい。また、フッ素ラジカルが発生しないことから、装置や電極の耐食性を気にかける必要がない。第三に、反応生成物は酸化膜であり、ガスとしての生成物はない。そのため、プラズマ中のガス組成変動が少なく安定であり、かつ反応生成物を除害するための設備が不要である。そして最後に、エッチングにおいてはその除去量をモニターすることは一般的に困難であるが、本方法においては、エリプソメトリ等を用いることにより、形成される酸化膜厚をその場計測可能であるため、比較的容易に除去量のモニターが可能になる。このように、本方法は低環境負荷型の高清浄高精度加工法となる可能性を有している。

(3) 基礎実験

まず、大気圧プラズマを用いたシリコンの酸化特性について調べた。実験装置として、既存の数値制御プラズマ CVM 装置を用いた。この装置は、直径 200mm の球状電極と、速度制御可能な XY テーブルを有した、高周波(150MHz)大気圧プラズマを発生できる装置である。試料としてシリコンウエハ(001)を用いた。電極と試料間の間隙は 0.5mm、投入電力は 750W とし、酸化時間に対する酸化膜厚の変化を調査した。結果を図 6.12.41 に示す。図 6.12.41 より、数分までは急速に酸化膜が成長しているが、それ以降は傾きがゆるくなっている。酸化時間が数分の領域では、酸化膜厚はほぼ酸化時間に比例していることから、この領域を用いることで、制御性良く数値制御酸化が可能であると考えられる。

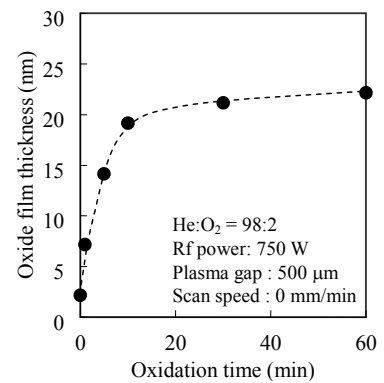


図 6.12.41 酸化膜厚さの酸化時間依存性

(4) SOI(Silicon on Insulator)の均一化

最後に、数値制御犠牲酸化の例として、SOI の均一化を試みた。SOI はシリコン基板上に薄い酸化膜を介してシリコン層が形成されている半導体基板であり、通常のシリコン基板を用いるより、高速で低消費電力のデバイスを作ることができる。素子の微細化とともにより薄いシリコン層を有する SOI が求められている。許容厚さ分布は膜厚に対して±5%であり、たとえば厚さ 100nm の SOI であれば±5nm 以内でよいが、20nm の SOI なら、±1.0nm 以内が要求される。現在、SOI ウエハは主に Smart-cut 法によって生産されているが、その製法上、直接作成できる SOI 層は約 100nm 程度であり、その後何らかの薄膜化工程 (CMP や通常の犠牲酸化) が必要になる。そのような薄膜化工程においては、均一性は悪くなることはあっても改善されることはない。現在、20nm レベルの SOI に求められる均一性±1.0nm 以内を得ることは極めて困難であり、本方法を用いて、SOI の均一性を向上させることを検討した。図 6.12.42 に市販 8 インチ SOI ウエハを均一化した例を示す。厚さばらつきで±4nm から±1.3nm に大幅な改善がみられ、本加工法による効果が確認できた。

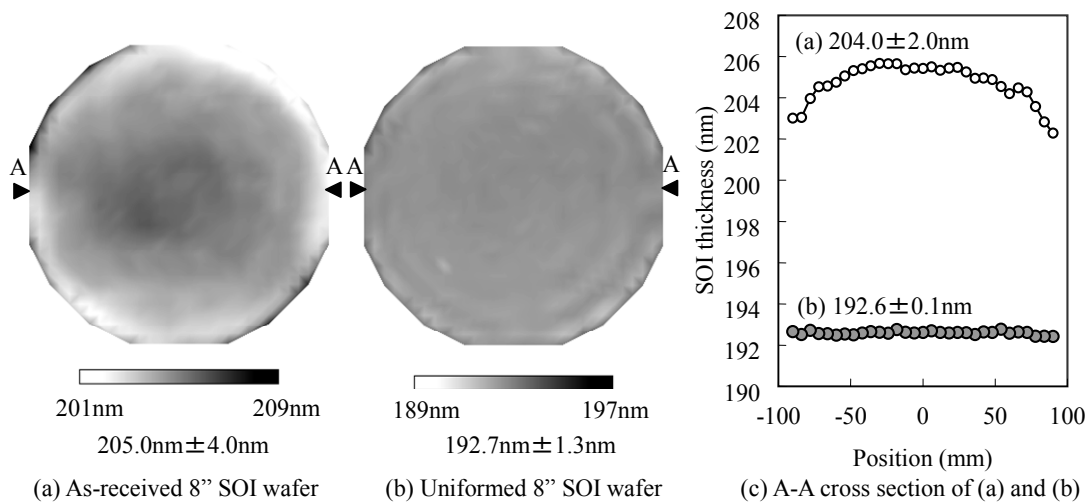


図 6.12.42 市販 8 インチ SOI ウエハの均一化結果

(5) 総括と今後の展望

低環境負荷型の高精浄高精度加工法として、数値制御大気圧プラズマ犠牲酸化を提案した。本方法によって、市販 SOI ウエハのシリコン層分布を改善することに成功した。今後、実用化に向けた検討を実施して行く予定である。

参考文献

[6.12.6-1] 佐野泰久, 特願 2006-183491