

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲	第 11042 号
------	-----	-----------

氏 名 堤 隆嘉

### 論 文 題 目

Study on atomic-scale plasma process based on substrate-temperature control by frequency-domain low-coherence interferometry

(周波数領域型低コヒーレンス干渉を用いた基板温度制御による原子スケールでのプラズマ加工プロセスに関する研究)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	堀 勝
委員	名古屋大学	教授	中里 和郎
委員	名古屋大学	教授	塩川 和夫
委員	名古屋大学	教授	新井 史人
委員	名古屋大学	特任教授	関根 誠
委員	名古屋大学	准教授	近藤 博基

## 論文審査の結果の要旨

堤隆嘉氏提出の論文「Study on atomic-scale plasma process based on substrate-temperature control by frequency-domain low-coherence interferometry (周波数領域型低コヒーレンス干渉を用いた基板温度制御による原子スケールでのプラズマ加工プロセスに関する研究)」は、大規模集積回路におけるプラズマエッチングにおいて、原子サイズの寸法精度で微細パターンを形成するために必要な基板温度の計測方法とその制御法についてまとめたものであり、全6章から構成されている。

第1章は、序論で、大規模集積回路におけるプラズマエッチングプロセスの微細加工技術および基板温度が加工形状に及ぼす多様な要因を挙げ、その中でも基板温度制御の重要性を示すことによって、本論文の目的と意義、そして構成について述べている。

第2章では、本論文で用いたプラズマ内部パラメータの計測方法とエッチングパターン形状の評価方法について述べた。また、基板温度計測に用いた光干渉計の原理にして詳述している。

第3章では、半導体基板温度計測のための周波数領域型低コヒーレンス干渉計として、本研究で開発した自己相関型周波数領域型低コヒーレンス干渉計 (ACT-FD-LCI) を用いて、シリコン基板温度計測法の特徴を調べた結果を示している。これにより、半導体デバイスに用いられるシリコン基板 (厚さ: 480  $\mu\text{m}$ ) の温度計測の標準偏差は、550°C 以下で 0.04°C であることが判明し、高精度な基板温度計測法の確立に成功した。この成果は、同方法が半導体製造でのプラズマプロセスだけでなく、高速熱処理などの加工プロセスでの基板温度計測法として高い有用性があり、画期的な基板温度計測方法として注目されるに至っている。

第4章では、ACT-FD-LCI によりプラズマプロセス中の基板温度の時間変化を計測し、基板の熱収支モデルの構築を行った。特に、基板温度が、プロセス時間の増加に伴い、従来のモデルとは異なる挙動を示すことに注目し、この原因が、プラズマからの熱流入によって基板周辺に設置しているフォーカスリングの温度が上昇したことに起因することを明らかにした。実際のエッチング状況下において、同方法は基板温度の 1°C 未満の変化を計測できることを明らかにした。本結果は、同方法が実用的なエッチングプロセスでも有効であることを実証したもので、工業的に高く評価されている。

第5章では、ACT-FD-LCI を用いてプラズマ照射中の基板温度をリアルタイムで計測し、その情報を基にプラズマの照射時間および冷却時間を交互にフィードバック制御するパルスプラズマ法によって、エッチング中の基板温度を一定に保持できるプロセスを提案している。これにより、従来のプロセスではプラズマ照射 1 分後において基板温度が 90°C 増加し、高精度のエッチングが困難であったが、本システムでは基板温度を 3°C 程度の範囲で維持することが可能となり、パルスプラズマ法の有効性を実証した。本システムを  $\text{H}_2/\text{N}_2$  プラズマに適用して有機膜をエッチングした結果、高精度の微細パターン形成に成功した。

第6章では、本研究の結果を総括し、今後の課題および展望について述べている。

以上のように、本論文では、大規模集積回路形成における超微細加工を実現するための、非接触リアルタイム基板温度計測方法を提案し、その有効性を実証した。さらに、基板温度を制御することで、原子レベルでの加工を実現するための新しいプロセス制御法を示した。これらの成果は、学術上、また工業上でも寄与するところが極めて大きい。よって、本論文の提出者である堤隆嘉氏は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格があるものと判断した。