

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13609 号
------	---------------

氏 名 森山 誠

### 論 文 題 目

容量結合型プラズマ中における高アスペクト比ホール底部の  
チャージアップ挙動に関する研究

(Study on the charge-up behavior at the bottom of high-aspect  
ratio holes in a capacitively coupled plasma)

### 論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	豊田 浩孝
委員	名古屋大学	教授	堀 勝
委員	名古屋大学	特任教授	関根 誠
委員	京都大学	教授	江利口 浩二

## 論文審査の結果の要旨

森山誠君提出の論文「容量結合型プラズマ中における高アスペクト比ホール底部のチャージアップ挙動に関する研究」は、近年の半導体メモリデバイスにおいて加工が困難となっている高アスペクト比ホールエッチングにおいてエッチング速度減少とホール形状異常の発生原因のひとつとされるホール底部への蓄積電荷に着目し、実際のエッチング装置にも用いられる二周波重畳容量結合型プラズマ装置の小型装置を立ち上げるとともに、高アスペクト比ホールの模擬構造としてキャピラリープレートを導入して模擬底部での面電荷蓄積挙動を定量的に明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では本研究の背景として、高アスペクト比ホールエッチングプロセスの必要性、プロセスに用いられるプラズマ源、プロセス課題を示すとともに本研究の目的について述べている。

第2章では、本研究のために立ち上げた、エッチングプロセスで使用される装置を模したパルス制御可能な二周波重畳容量結合プラズマ源の概要を示すとともに、その装置で生成されたプラズマの基本特性について示した。まず設計指針を得るため有限要素法に基づいた簡易的なプラズマ生成シミュレーションをおこない、装置構造を決定した。そしてこの設計指針に基づいて装置を製作し、本装置において実プロセスで用いられるプラズマ源と同等程度の $\sim 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ の高密度プラズマが得られることを示した。また、本装置の計測に用いた表面波プローブ法、電荷密度測定のために用いた計測系についてもその概要を示した。

第3章では、キャピラリープレート底面の面電荷密度の絶対評価方法及び評価例について述べた。まず、高電圧プローブを用いてキャピラリープレート上下面の高周波電圧振幅を測定し、キャピラリープレート静電容量を評価した。この結果をもとにキャピラリープレート上下面間平均電圧に基づいて面電荷密度を評価した。さらに、プラズマからRF電極までの構造を複数のコンデンサからなる等価回路で表現することによってキャピラリープレート上部の自己バイアス電圧を推定した。この方法で得られた結果から、静電モデルを用いて各境界の表面電荷密度を求めることに成功した。その結果、VHF単周波電印加時におけるアスペクト比50のCP下部の正の面電荷密度の絶対値は、 $\sim 25 \times 10^6 \text{ C/cm}^2$ であることが示された。以上の結果は高アスペクト比ホール内の電荷密度評価が可能であることを示す重要な知見である。

第4章では、パルスプラズマのオン・オフ時の定常状態に着目し、電荷挙動と電荷蓄積の過程を考察した。VHF単周波での面電荷密度を評価したところ、キャピラリープレート上部の自己バイアス電圧に対して、キャピラリープレート下部で電荷蓄積がほとんど起こらない領域、正の表面電荷蓄積が起こる領域、正の表面電荷密度が減少する領域の3つの領域が存在することを示した。特に表面電荷密度が低下する領域では、CW放電とパルス放電の比較から、パルスオン時においても負電荷がキャピラリープレートの底部に流れ込む可能性があることが示唆された。さらに、LF電力を重畳してキャピラリープレート上部に強い負バイアスを誘導することで、アスペクト比に関わらずホールの下部に負電荷の蓄積が起こることを示した。これは従来の考えを覆す有用な知見である。

第5章では、まず純Arパルスプラズマにおけるキャピラリープレート底部の面電荷密度の時間変化を示した。パルスオフ時には比較的早い減衰と遅い減衰がみられ、早い減衰はアフターグロープラズマからの電子流入、遅い減衰はキャピラリープレート抵抗のリーク電流が支配的な電荷緩和であると考察された。また、 $\text{C}_4\text{F}_8/\text{O}_2$ 添加プラズマは、アスペクト比の減少に伴ってキャピラリープレートリーク抵抗が減少し、ホール側壁に堆積したフルオロカーボン膜を介したリーク電流の存在が示唆されたが、アスペクト比50ではリーク抵抗の減少が見られずフルオロカーボンが底部側壁に堆積していないことが示された。次に、キャピラリープレート底部に流れ込むプラズマからの電子電流を評価した。その結果、パルスオフ直後の約0.2 msまではアフターグロープラズマからの電子電流が存在することを確認した。最後に、パルスオン時にホールを通過するチャージアップ電流を評価したところ、ホールから流入する電流は数 $\text{mA/cm}^2$ であり、プラズマから直接流れる電流よりもはるかに小さいことが明らかにされた。これらの結果も高アスペクト比ホール内の電荷蓄積挙動を理解する上において非常に有用な知見である。

第6章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では高アスペクト比ホール内における電荷蓄積挙動を明らかにしている。蓄積電荷評価法並びに得られた結果は半導体プロセスにおける高アスペクト比エッチングの制御に向けて重要な知見であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である森山誠君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。