

氏名(本籍)	くぼた まさ ふみ 久保田 正文(大阪府)			
学位の種類	博 士(工 学)			
学位記番号	博 甲 第 6416 号			
学位授与年月日	平成 25 年 3 月 25 日			
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当			
審査研究科	数理物質科学研究科			
学位論文題目	高密度集積回路プロセスにおける低損傷ドライエッチングおよびプラズマドーピング技術の研究			
主査	筑波大学教授	工学博士	山 部 紀久男	
副査	筑波大学教授	工学博士	山 田 啓 作	
副査	筑波大学教授	理学博士	白 石 賢 二	
副査	筑波大学准教授	博士(理学)	岡 田 晋	

論 文 の 内 容 の 要 旨

今日の急速な情報通信技術の進展は、半導体集積回路の高性能化に拠るところが大である。そして半導体集積回路の高性能化はいわゆるムーアの法則で知られる半導体素子の微細化による素子の高速化と高密度集積化によってもたらされてきた。半導体集積回路の基準最小寸法は 1970 年にはおおよそ $10\mu\text{m}$ であったが、現在 2012 年では 22 nm となり、約 500 分の 1 に縮小している。加工寸法精度は最小寸法の 20 から 30 %とされているので、極めて高い寸法精度も併せて求められていることが分かる。加工寸法だけではなく、縦方向の寸法でも微細化が進んでおり、例えばゲート絶縁膜の膜厚は、1970 年にはおおよそ 150 nm であったが現在では実効膜厚で 1.5 nm 程度と 100 分の 1 に薄膜化し、しかも当初使われていたシリコン酸化膜はリーク電流が大きすぎて使えず Hf 酸化膜などの高誘電率絶縁膜が使用されている状況である。このような半導体集積回路の微細化は、各種材料技術、プロセス技術、デバイス設計技術、製造装置技術、など、関連する技術の集大成によって成し遂げられてきたものである。とりわけ、2~3 年で加工ルールが 0.7 倍に縮小する微細加工技術は、常に、微細化で追い立てられてきたと言える。

本研究では、低損傷・高選択ドライエッチング技術として、回転電場を用いたりサージュプラズマによる中密度プラズマエッチング技術の提案を行った。実験の結果、数 Pa の低圧力下で均一なプラズマ発生を確認するとともに、多結晶 Si エッチングやアルミニウムエッチングで、低ダメージかつ高精度のドライエッチングが可能であることを示した。すなわち、磁場印加なしで、平行平板 RIE では困難であった、1Pa の低圧力下で、RIE と同等レベルの $1 \times 10^{10}/\text{cm}^3$ の電子密度を確認した。また、LEP をポリ Si ゲートエッチングに適用し、良好なエッチング形状と、ゲート絶縁膜との高い選択比、そして、パターンの粗密による寸法差のきわめて小さいエッチングを実現した。アンテナ MOS 容量を用いてチャージングダメージに課題はないことを確認した。

さらに、本研究ではプラズマプロセスにおけるチャージングによるゲート絶縁膜破壊メカニズムについて議論する。チャージングによる微細デバイスの劣化防止のため、高感度なチャージングの評価手法についての提案を行った。ここでは、プラズマシミュレーションの結果、励起高周波電力の一周期の間のウエハにプラズマから電子電流が流入するタイミングでウエハ周辺に集中して電子電流が流れるというモデルを提案し

た。また、アンテナ MOS 容量、アンテナ MOSFET のプラズマ処理による劣化について調べ、それらに関係づけすることができた。アンテナ MOS デバイスにより定量的にチャージングによる損傷を評価することが可能となった。

また本研究では、fin 構造 3 次元 Tr プロセスに向けたヒ素 As のプラズマドーピングについて研究し、微細な fin 構造へ均一なドーピング技術が可能であることを示した。すなわち、fin 頂部にひさし構造マスクを設置して As ドープを行い、2 次元 SSRM による拡がり抵抗分布の結果から、fin 側面へのドーピングにはプラズマ照射によるイオン支援効果が極めて重要な役割を果たしていることを明らかにした。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、実験、シミュレーション理論の両者を相補的に用いることにより、今日問題となっている半導体の微細化、高性能化における鍵を担う、高精度、低損傷エッチング技術の開発、プラズマプロセスにおいて本質となる、チャージングによるゲート絶縁膜破壊メカニズムの解明、fin 構造 3 次元 Tr プロセスに向けたヒ素のプラズマドーピングについて研究し、微細な fin 構造へ均一なドーピング技術の探索を行い、構成の半導体デバイス設計の指針の提示を行ったものである。本論文において報告されている成果はいずれも、半導体デバイスの微細化、高速化において非常に重要な位置をしめるものであり、今後のデバイス設計において鍵となる成果であり、非常に重要なものである。また、得られた成果に対して、十分なサイエンスとしての掘り下げがなされており、本論文は博士（工学）に相当するものである。

平成 25 年 2 月 19 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。