

論文内容の要旨

博士論文題目

(英文) Development of Photoelectrochemical and Dry Etching Process
for Silicon Carbide Devices

(シリコンカーバイド(SiC)デバイスにむけた光電気化学と
ドライエッチングプロセスの開発)

氏名 三上 英則

近年、温暖化等による地球環境問題を解決するため、電力の高効率利用によるエネルギーの節減が重要になってきている。そのため、電力変換コントロール用の“パワーエレクトロニクス”デバイスの開発が急務である。現用のシリコンデバイスは、物性値から示される理論限界に到達しつつあり、大幅な特性向上は望めない。そこで、優れた物性値を有するシリコンカーバイド(SiC)を用いたデバイスが注目されている。

本研究では、新規半導体材料である SiC を用いたデバイスを形成するため、光電気化学プロセスならびにドライプロセスによる SiC のエッチングにおける物理を解明し、プロセス技術の確立を目指した。SiC は、ダイヤモンドに次ぐ非常に硬い材料であり、エッチングによる微細加工が難しい。また、SiC 基板には、多数の欠陥や研磨傷が残留しており、エピ成長前の処理やデバイス作製時の集積化・素子分離にむけた微細加工技術が必須である。

光電気化学プロセスでは、電解液と半導体間でショットキー接合を形成し、紫外光を照射しながら、室温でエッチングを行った。エッチング速度 18nm/min を得るとともに、表面の原子レベルでの平坦化に成功した。エッチング機構を解明し、電解液の pH 値がキーポイントであることを明らかにした。さらに、SiC エピタキシャル層の結晶欠陥の評価にも有用であることを示した。従来、欠陥評価として、熔融水酸化カリウムで 400°C 以上もの高温が必要で危険であったが、この方法を用いれば、室温でしかも容易なプロセスとして欠陥の評価が可能である。

容量誘導結合プラズマを用いたドライエッチングの開発を行った。デバイス構造の作製には、低ダメージ・表面平坦化を可能とするエッチング技術が必要不可欠であるが、エッチング表面のフッ素系膜の残留が大きな問題となっている。表面に残留するフッ化物の抑制に焦点を絞った。エッチングガスに水素、酸素を添加してエッチングを行い、表面フッ素濃度の抑制と、表面ラフネス低減を実現した。このエッチング技術を利用して、トレンチ構造を有する UMOS 電界効果型トランジスタを試作し、酸化膜/シリコンカーバイド界面の電子物性の解析を行った。

(論文審査結果の要旨)

近年、温暖化等による地球環境問題を解決するため、電力の高効率利用によるエネルギーの節減が重要になってきている。そのため、電力変換コントロール用の“パワーエレクトロニクス”デバイスの開発が急務である。現用のシリコンデバイスは、物性値から示される理論限界に到達しつつあり、大幅な特性向上は望めない。そこで、優れた物性値を有するシリコンカーバイド(SiC)を用いたデバイスが注目されている。

本論文では、新規半導体材料である SiC を用いたデバイスを形成するため、光電気化学プロセスならびにドライプロセスによる SiC のエッチングにおける物理を解明し、プロセス技術の確立を目指した。SiC は、ダイヤモンドに次ぐ非常に硬い材料であり、エッチングによる微細加工が難しい。エピ成長前の処理やデバイス作製時の集積化・素子分離にむけた微細加工技術の新しい開発が必須である。

光電気化学プロセスでは、電解液と半導体間でショットキー接合を形成し、紫外光を照射しながら、室温でエッチングを行った。エッチング速度 18nm/min を得るとともに、表面の原子レベルでの平坦化に成功した。エッチング機構を解明し、電解液の pH 値がキーポイントであることを明らかにした。さらに、SiC エピタキシャル層の結晶欠陥の評価にも有用であることを示した。

容量-誘導結合プラズマを用いたドライエッチングの開発を行った。デバイス構造の作製には、低ダメージ・表面平坦化を可能とするエッチング技術が必要不可欠であるが、エッチング表面のフッ素系膜の残留が大きな問題となっている。表面に残留するフッ化物の抑制に焦点を絞った。エッチングガスに水素、酸素を添加してエッチングを行い、表面フッ素濃度の抑制と、表面ラフネス低減を実現した。このエッチング技術を利用して、トレンチ構造を有する電界効果型トランジスタを試作し、酸化膜/シリコンカーバイド界面の電子物性の解析を行った。

以上のように、本論文は、半導体シリコンカーバイドの新規エッチング技術に関して、学術的に価値が高いのみならず、得られた知見は工学的にも応用可能であり、大変有益である。よって、審査委員一同は、本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認め、審査結果を合格とした。