

## 論文内容の要旨

博士論文題目

Analysis of anisotropic etching mechanism by hydrogen plasma on polycrystalline diamond

多結晶ダイヤモンドにおける水素プラズマを用いた異方性エッチング機構の解析

氏名 吉井 大陸

(論文内容の要旨)

表面近傍に p 型半導体特性を示す水素終端ダイヤモンドはその特性からパワー半導体素子への応用が期待されている。しかし、一般的に用いられる水素プラズマ曝露による水素終端処理にはダイヤモンド基板のエッチングが伴うことが課題とされており、微細化が進むにつれてその影響が顕著になる。特に近年では縦型構造などの複数の結晶方位が表面に現れるデバイスが試作されるようになり、異方性エッチング傾向の把握が重要であるが、その理解は技術的な障壁から十分な検討が成されてこなかった。そこで本研究は基板に複数の方位を有する多結晶ダイヤモンドに水素プラズマエッチングを行い、同一プラズマ環境下での異方性エッチングの傾向を明らかにし、その機構の解明を目的とした。

異方性エッチング傾向の評価手法として、水素プラズマエッチング処理前後の多結晶ダイヤモンド基板表面の形状を原子間力顕微鏡(AFM)で評価し、AFM評価範囲の結晶方位を電子後方散乱回析法(EBSD)で評価する手法を提案した。結果として、基板温度 500°C 台では{111}近傍及び{100}近傍は低エッチングレートを示し、{110}に傾くほど高エッチングレートを示す傾向が得られた。要因として表面炭素原子の状態がエッチング傾向に影響を与えていると考察した。さらに、異方性エッチング傾向の温度依存性を評価した結果、高エッチングレートを示す方位に変化が見られた。500~600°C 条件では{110}近傍、700~940°C 条件では{310}、{210}、{530}近傍に高エッチングレートが分布するという異方性エッチング傾向の変化が明らかとなった。このエッチング傾向の温度依存性は、一部の方位において高エッチングレートな傾向にある二つのダングリングボンドに二つの水素が結合した表面炭素 dihydride のダイヤモンド表面を占める割合が温度上昇に伴って増加することによるものと推測した。以上より、表面炭素原子の状態がエッチング傾向の温度依存性にも影響することが示唆された。

本研究から得られた異方性エッチング傾向の知見は将来の高性能な水素終端ダイヤモンドデバイスの実現に寄与するものと考えられる。

(論文審査結果の要旨)

吉井大陸君は、不明瞭であった水素プラズマによるダイヤモンドの異方性エッチング傾向を明らかにするべく研究を行った。低損失かつ高出力動作が可能な次世代パワーデバイスへの応用が期待されるが、水素プラズマ曝露に伴うエッチング効果に起因する表面形態の変化が懸念であった。特に微細化に有利な縦型構造のデバイス応用のためには、水素プラズマによる異方性エッチング傾向の把握が要であるが、その理解は技術的な障壁から十分な検討が成されてこなかった。吉井君はその理解のため、同一水素プラズマ環境下で複数の方位のダイヤモンドをエッチング処理する手法確立と異方性エッチング傾向を明らかにし、その要因の解明を目的として研究を進めた。

本論文は、上記の背景と目的を述べた第1章から、総括を述べた第5章までの全5章から構成されている。

第2章では、水素プラズマによるダイヤモンドの異方性エッチングを評価する手法の提案と検討を行った。基板に多結晶ダイヤモンドを用いて表面形状をAFMで評価し、SEM/EBSDでAFMによって評価を行った範囲の結晶方位を評価する手法を提案し、これらを実施するためプロセス条件の検討を示した。

第3章では、水素プラズマエッチング前後の多結晶ダイヤモンド表面をAFM及びEBSDを用いて同範囲の評価に取り組んだ。 $\{111\}$ 近傍と $\{110\}$ 近傍のエッチングレートを算出した結果、 $\{111\}$ 近傍と $\{110\}$ 近傍間のエッチングレートの差は3倍以上にも上ることから、水素プラズマによるダイヤモンドのエッチングは異方性エッチングであることが確認された。

第4章では、第3章の結果を基に結晶方位と相対的なエッチングレートの相関を評価した。結果として $\{110\}$ 近傍に傾くほどそのエッチングレートが上昇する傾向が見られた。さらに、異方性エッチング傾向の温度依存性を評価した結果、基板温度上昇によって傾向が変化することを明らかにした。これらの結果の要因として表面炭素原子の状態がエッチング傾向に影響を与えていると考察した。

以上、本論文はこれまで明らかでなかった水素プラズマによるダイヤモンド表面の異方性エッチング傾向を明瞭に示し、結果からその要因を表面炭素に起因するものと明らかにした。本論文の成果は高性能な水素終端ダイヤモンドデバイスの実現に寄与するものと考えられる。従って、審査員一同は、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た。