

氏名	平井 正明
授与した学位	博士
専攻分野の名称	理学
学位授与番号	博甲第2900号
学位授与の日付	平成17年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科基盤生産システム科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	炭化珪素薄膜の成長と表面・界面物性
論文審査委員	教授 岩見 基弘      教授 澤田 昭勝      教授 大嶋 孝吉

#### 学位論文内容の要旨

SiCは、飽和電子速度、絶縁破壊電界強度、熱伝導度などの物性値が一般的な半導体であるSiより優れていることから、高周波、高温、高電界などの過酷な環境下で動作可能なデバイス材料として注目されている。そのSiC薄膜を化学輸送法により堆積させる研究、及び、SiC結晶の表面分析と金属-SiC接合系の界面物性についての研究を行った。

第1編第1部では太陽電池や乾式複写機の感光材料として利用可能、かつ、環境に優しい素材である水素化アモルファス炭化シリコン ( $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{H}$ ) の作成とその評価について述べている。成膜方法としては、真空槽内に導入する原料ガスをRFプラズマにより乖離活性化させるプラズマ化学輸送法を用いた。赤外吸収分光およびX線光電子分光の結果から、炭素濃度  $x$  の増加に伴い  $x=0.6$  程度まではSi-C結合の増加が認められた。それ以上の炭素濃度では炭素-炭素結合 (C=C結合あるいはC-C結合) の増加と考えられる。Si原子とC原子が同程度の組成の場合、従来の薄膜の価電子帯濃度と比較すると2割程度だけ濃度の少ない薄膜が得られた。

第1編第2部にはSi基板上へ単結晶SiCをヘテロエピタキシャル成長させた結果をまとめた。その際、種々の堆積方法と原料ガスを変えることにより、堆積中の基板温度の低温化に挑戦した。堆積方法では、加熱した基板上へ原料ガスを流す熱化学輸送法、それにRFプラズマを加えた方法などを工夫した。原料ガスとして、アセチレンとシラン、Si源とC源を一つの分子内にもつジメチルシラン、モノメチルシランを用いた。その結果、従来、1350°Cの基板温度で堆積されていた3C-SiC結晶に対し、モノメチルシランにより1100°Cの基板温度で<100>方向に配向した3C-SiC結晶のヘテロエピタキシャル成長に成功した。

第2編第1部には6H-SiC(0001)結晶の表面構造と熱処理効果についてオージェ電子分光法、低速電子回折、電子エネルギー損失分光法、X線光電子分光法、走査トンネル顕微鏡で調べた結果をまとめている。化学表面処理として(1)KOH処理、(2)RCA洗浄、(3)希HF処理の3種類を行った。走査トンネル顕微鏡観察では、1100°Cの熱処理で観測される $6\times 6$ 構造は、低速電子回折では $6\sqrt{3}\times 6\sqrt{3}$ 構造として現れる。これはオージェ電子分光法の結果と合わせて考えると下地SiCとその上に形成された炭素原子によるグラファイト構造とのモアレ模様で説明できることを示した。

第2編第2部には3C-SiC(001)、6H(4H)-SiC(0001)Si面上へ遷移金属 (Ni, Cr, Fe) を堆積させ、熱処理による生成物を電子線励起の軟X線放出分光法、および、放射光励起による軟X線蛍光分光法により調べた結果が述べてある。堆積させた金属がいずれの場合も熱処理によりシリサイドを形成することを明らかにした。さらに、形成されたシリサイド薄膜中に、Crシリサイド膜を除いてグラファイト構造の炭素原子が存在することを解明した。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、禁制帯幅が大きい等の特徴から、次世代半導体材料として注目されている SiC の薄膜成長、及び、SiC 単結晶表面・界面の研究から成り、2 編、4 部で構成されている。

第 1 編第 1 部では、水素化アモルファス炭化シリコン ( $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{H}$ ) の作成とその評価について述べている。成膜方法としては、プラズマ化学輸送法を用い、プラズマ層と試料の間にアース電位のメッシュを置き、イオンなどの荷電粒子の除去を行い、堆積した薄膜の損傷の低減を図っている。さらに、赤外吸収分光測定などの結果から、炭素濃度  $x$  の増加に伴い  $x=0.6$  程度までは Si-C 結合の増加、それ以上の炭素濃度では炭素-炭素結合 (C=C 結合あるいは C-C 結合) の増加、で膜構造を説明している。また、水素化アモルファスシリコン ( $a\text{-Si:H}$ ) とのヘテロ構造におけるバンド端構造を明らかにしている。

第 1 編第 2 部では Si 基板上へ単結晶 SiC をヘテロエピタキシャル成長させた研究について述べている。その際、種々の堆積方法と原料ガスを変えることを試みた結果、原料ガスとして、Si 源と C 源を一つの分子内にもつメチルシランを用いることにより、従来、1350°C の基板温度で堆積されていたのに対し、1100°C の基板温度で  $\langle 100 \rangle$  方向に配向した 3C-SiC 結晶のヘテロエピタキシャル成長に成功している。

第 2 編第 1 部は、6H-SiC(0001)結晶の表面構造の熱処理効果についての、走査トンネル顕微鏡などによる研究である。その結果、 $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ ,  $6 \times 6(6\sqrt{3} \times 6\sqrt{3})$ ,  $3 \times 3$  の表面超構造の生成条件を明らかにしている。また、 $6 \times 6(6\sqrt{3} \times 6\sqrt{3})$ 構造は下地 SiC(0001)構造とその上に形成された炭素原子によるグラファイト構造とのモアレ模様で説明できることなど、それらを説明する構造モデルを考察している。

第 2 編第 2 部は、3C-SiC(001), 6H(4H)-SiC(0001)Si 面上に遷移金属 (Ni, Cr, Fe) を堆積させた系についての、熱処理による表面層における構造変化の軟 X 線放出分光法による研究である。これらの組み合わせでは、いずれの接合系においても熱処理により、界面にシリサイドが形成されること、形成されたシリサイド薄膜中に、Cr の場合を除いてグラファイト構造の炭素原子が存在することを解明している。

以上のような成果を上げており、本論文は博士の学位に値すると判断する。