氏　名	陳（チン）　義（ギ）
学位(専攻分野)	博　士　(工　学)
学位記番号	博　甲　第　224　号
学位授与の日付	平成12年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科　情報・生産科学専攻
学位論文題目	**Crystal Growth of 3C-SiC on Si(100) substitute using HMDS Single Precursor by APCVD**
審査委員	(主査) 教　授　西野茂弘 教　授　更家淳司　　教　授　山田正良

論文内容の要旨

本論文は、ヘキサメチルジシラン（HMDS）を原料としたCVD法によりシリコン基板の上に3C-SiC（立方晶SiC）の単結晶薄膜の形成方法について論じたものである。3C-SiC単結晶薄膜は電子デバイスへの応用などその研究開発が望まれている。しかし、結晶性の高い3C-SiC薄膜を得るには基板材料、成長方法などを選択することが重要である。本論文では、シリコン基板の上に極薄膜の炭化バッファー層を介在させることにより、単結晶薄膜を成長し、その結晶性、電気的性質などを研究したものである。本論文は7章から構成されており、以下に各章の概要を記す。

第1章では、SiCの研究背景、現状及び本研究の目的について述べている。またこの中で、SiCの性質と結晶構造について紹介し、CVD法によるエピタキシャル成長の核形成と結晶成長に関する一般理論とモデルについても紹介している。

第2章では、成長温度1350℃での3C-SiCのヘテロエピタキシャル成長について詳しく報告している。エピタキシャル成長プロセスはエッチング、炭化、CVD成長の3工程よりなっている。成長の初期にC_3H_8のみを供給し、Si基板を高速、高温加熱（1350℃）し“buffer layer”と呼ばれるSiC初期成長層の最適化プロセスについて述べている。CVD成長の結果、膜厚0.5μm～17.5μmの単結晶3C-SiCの薄膜を得ている。全ての膜は鏡面で成長速度は平均して4.3μm/hとしている。この成長速度は他の研究者によって報告されているSiH_4+C_3H_8系の場合より非常に速いと強調している。またこの反応系のHMDS+H_2ガスは反応管内でC過剰のように思われるが、on-axis基板上の表面モフォロジーは楔模様をしており、これは今までの報告例を参考にすると必ずしもC過剰でないことが判明したとしている。表面構造をAFMにより観察し、on-axis Si(100)基板上では一方向のモフォロジーを観察している。APD (anti-phase domain) 構造をRHEEDにより観察し、On-axis Si(100) 基板上へCVD法によって成長させた3C-SiC膜が(100)面において互いに3×1構造と90°回転した関係を持つdomainsが混在し、off-axis SiC(100) 基板上に3×1構造を持つsingle domainの3C-SiC膜が成長さしていることを確かめている。

第3章には、1350℃でon-axis Si基板上へ成長させた3C-SiC膜の電気特性をホール測定、ショットキーダイオード測定により評価している。3C-SiC薄膜の不純物濃度が$1.5\text{-}3\times10^{17}m^{-3}$であり、室温でホール移動度が$400cm^2V^{-1}\ sec^{-1}$を得ている。300K以上ではホール移動度は$T^{-1.45}$～$T^{-1.56}$乗に比例しており、高温域では音響フォノンによる散乱がもっとも支配しているとしている。

第4章には、on-axis Si(100) 基板上への3C-SiC膜の表面モフォロジーをAFMにより観察した結果を述べている。HMDSのみを用いて成長させた3C-SiC膜の表面をAFM観察することにより、表面には山のよ

うなridgesが観察されるが、微量のHCl添加によりこのridgesが消失し表面は平坦化され、その原因について考察している。

第５章には、ラマン分光法、フォトルミネッセンス（PL）法によりエピタキシャル膜中の歪み、欠陥、不純物、結晶性等を解析している。特にラマン散乱法で波数796cm^{-1}近傍に3C-SiCのTOフォノンが、973cm^{-1}近傍に3C-SiCのLOフォノンがそれぞれ観察され、これらを指標として解析すると欠陥、歪みの解析が容易であるとしている。また測定温度11Kでのフォトルミネッセンス測定では窒素に束縛された励起子の発光を観測し、成長した膜が高品質であるとしている。ラマンスペクトル、PLスペクトルの膜厚依存性の比較検討することによりとSi基板上のSiC膜のには残留応力が存在することを結論づけ、膜厚が増加するにつれてこの応力が減少し、膜質が改善されたとしている。

第６章には、HMDSの一つの利点としての低温成長の可能性について言及している。そこでは、キャリアガスとしての水素にArを50%添加することにより、1150℃で単結晶3C-SiC膜が得られることを示している。また低温成長には原料ガスの中に微少流量のC_3H_8ガスを添加することによっても、結晶性の改善が得られたとしている。シラン／プロパン系においては1150℃での単結晶は報告されておらず、HMDS原料を用いることにより低温成長の可能性を示唆した実験として重要な結論である。

第７章には、まとめとしては本研究の課題及び将来の展望を記している。

論文審査の結果の要旨

申請論文はSiC形成の原料として単一原料であるヘキサメチルジシラン（HMDS）を原料としたCVD法によりシリコン基板の上に3C-SiC（立方晶 SiC）の単結晶薄膜の形成方法について論じたものである。大きな格子不整合をもつ組み合わせでの単結晶成長について、成長条件を詳しく研究して、結晶的にも、電気的にも高品質のエピタキシャル膜を再現性よく得る条件を確立している。これらの結果は今後の単結晶SiCの結晶成長およびそのデバイス応用に大きな貢献をするものと判断される。本論文の内容は、下記に示す５編の論文に掲載、公表され、３編が筆頭著者となっている。

1．K. Matsumoto, Y. Chen, J. Kuzmik and S. Nishino
"6H-SiC Schottky Diode Edge Terminated Using Amorphous SiC by Sputtering Method"
Maters Science Forum Vols. 264-268 (1998) pp. 925

2．Y. Chen, K. Matsumoto, Y. Nishino, T. Shirafuji and S. Nishino
"Heteroepitaxial growth of 3C-SiC using HMDS by atmospheric CVD"
Materials Science and Engineering B61-62 (1999) 579

3．Y. Chen, Y. Masuda, Y. Nishio, K. Matsumoto, and S. Nishino
"Properties of Heteroepitaxial 3C-SiC Layer on Si Using $Si_2(CH_3)_6$ by CVD"
Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 572 (1999) 191

4．S. Nishino, K. Matsumoto, Y. Chen and Y. Nishio
"Properties of 4H-SiC by Sublimation Close Space Technique"
Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 572 (1999) 179

5．Y. Chen, Y. Masuda, C. Jacob, T. Shirafuji and S. Nishino
"Improvement of 3C-SiC surface morphology on Si(100) by adding HCl using atmospheric CVD"
Intl. Conf. on Silicon Carbide and Related Materials, USA 1999 (in press)

以上の審査結果より、本論文は博士論文として十分な内容を備えていると判定される。