

学位論文の審査結果の要旨

当該論文は、炭化水素によるSi基板表面の炭化機構を解析して高品位な3C-SiC薄膜を堆積させるための基礎技術を開発したものである。詳細な解析により、炭化過程はエピタキシャル機構と拡散機構により構成されることを解明している。また炭化層の形成は比較的高速で行われる初期段階とそれに続く成長の2段階で行われることを見出した。また、炭化層の形成機構とその上に堆積された3C-SiC薄膜の結晶性の関係について明らかにし、高品位な3C-SiC薄膜を得るためにはエピタキシャル機構が重要であることを見出している。

3C-SiCは4H-SiCに比べ電子移動度や飽和ドリフト速度が大きい、絶縁膜/SiC界面特性が良好であるなどの特徴を有している。しかしながら、基板となる3C-SiC単結晶ウェーハの作製技術が確立されておらず、Si基板にヘテロエピタキシャル成長させる方法が検討されている。3C-SiCエピタキシャル層の形成はSi基板表面を炭化処理し、バッファ層を形成することにより安定してSiC膜の形成が可能となったが、このバッファ層はエピタキシャル層の結晶品質に対して支配的に影響する。当該論文はこの炭化バッファ層に着目し、高品位3C-SiCエピタキシャル膜形成に向けてSi基板炭化機構を解明したものである。

炭化ガスには主にC₂H₄ガスが用いられ、1000℃前後で実験が行われた。炭化過程はエピタキシャル機構と拡散機構により形成されることを見出した。また、炭化層は2つの段階により形成されることが示された。第1段階は炭化層でSi表面がおおわれるまでの過程で、低圧条件ではエピタキシャル機構により膜形成すること、高圧条件では拡散機構により膜形成することが判明した。また初期段階で形成される炭化層の膜厚はプロセス圧力に対し逆比例の関係があることが示された。第2段階では、低圧条件では膜成長はせずプロセス時間に対し膜厚は一定となった。一方、高圧条件では炭素がSiC膜の結晶粒界を拡散し基板のSiと反応することで膜成長することがわかった。成長速度はプロセス圧力が高くなるに従い線形に速くなりある圧力で飽和した。成長速度が飽和する原因はSiC膜への炭素の取り込み量の飽和にあることが示された。また表面の炭素濃度がこの炭化機構を決定していることが判明した。これらの機構を検証するため昇温速度を変えた実験、炭化ガスにneo-C₅H₁₂を用いた実験で検討を行いその傾向が説明できることが確認された。

以上の結果に基づき、炭化機構が異なる2つの炭化層についてその上に形成するSiCエピタキシャル膜の結晶性について検証した。その結果、エピタキシャル機構により形成された炭化層をバッファ層とすることで上部のエピタキシャル膜の結晶品質も良くなることが確認された。

以上のように、当該論文では次世代パワーエレクトロニクスの基本技術の1つである3C-SiC素子の実現に対して重要な基礎技術の開発が述べられており、博士学術論文として十分に認定できる学術的内容であると認められる。

また、当該論文の内容は、原著論文として応用物理学会英文論文誌 (Jpn. J. Appl. Phys.) に1編が掲載決定している。加えて、SiC研究分野で現在世界的に最も広く認識されている国際会議 (ICSCRM2013) の議事録に1編が掲載決定している。さらに、ICSCRMに準ずる国際会議ECSCRM2012の議事録として1編が掲載済みである。これらの原著論文はすべて当該著者が筆頭著者として執筆している。以上のように、当該論文は、ナノカーボン先端材料工学講座の学位認定基準を満たしている。

公表主要論文名

・ Yukimune Watanabe, Tsuyoshi Horikawa and Kiichi Kamimura, "The influence of the carbonization mechanisms on the crystalline quality of the carbonization layer for heteroepitaxial growth of 3C-SiC", Jpn. J. Appl. Phys. (to be published).

・ Yukimune Watanabe, Tsuyoshi Horikawa and Kiichi Kamimura "Growth mechanisms of 3C-SiC layer by carbonization of Si (100) substrates in high vacuum region", Materials Science Forum (to be published). (ICSCRM2013;Miyazaki)

・ Yukimune Watanabe, Keisuke Shinoda, Masahiro Tsukahara, Hiroyuki Shimada, Masahiro Furusawa, Tsuyoshi Horikawa and Kiichi kamimura, "Study of carbonization process on surface of Si substrate in high vacuum region with hydrocarbon gas", Materials Science Forum Vols. 740-742, p 161-164 (2013).(ECSCRM2012;Pererburg)