

氏名(本籍)	びん 陳	ちえん 斌(中国)
学位の種類	博士(工学)	
学位記番号	博甲第5169号	
学位授与年月日	平成21年7月24日	
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当	
審査研究科	数理物質科学研究科	
学位論文題目	Electrical, optical and structural characterization of extended defects in 4H-SiC films and multicrystalline Si (4H-SiC 薄膜と多結晶 Si 中の拡張欠陥の電氣的・光学的・構造学的評価)	
主査	筑波大学教授	理学博士 関口隆史
副査	筑波大学准教授	工学博士 三木一司
副査	筑波大学准教授	博士(工学) 末益崇
副査	産業技術総合研究所技術統括	工学博士 松畑洋文

論文の内容の要旨

炭化珪素 (SiC) は、超低損失、高速・高温動作ができるパワー半導体としての応用が期待されている。とくに 4H-SiC は、高いキャリア移動度と高い破壊電圧を有すること、高品質の材料が育成できることから、最も研究が進んでいる。ところが、4H-SiC 素子の特性や信頼性はまだ十分ではない。この素子を実用化するためには、素子の破壊や不良の原因となる欠陥の同定と、その制御が必要不可欠である。

本研究では、電子線誘起電流 (EBIC)、カソードルミネッセンス (CL)、透過電子顕微鏡 (TEM) を用いて、4H-SiC に存在する代表的な拡張欠陥である転位と積層欠陥の電氣的作用を明らかにした。また、不純物汚染による効果を調べ、これを Si の場合と比較した。

本研究で得られた主要な成果は以下の4項目である。

1. 4H-SiC 中の転位

基底面転位、貫通らせん転位、貫通刃状転位 (2種類) のキャリア再結合強度を EBIC により調べ、電氣的活性度を比較した。100K から室温までの温度範囲で、EBIC コントラストは、基底面転位 > 貫通らせん転位 > 貫通刃状転位 (I) > 貫通刃状転位 (II) の順であり、温度上昇に対して増加していた。これらより、同じ幾何学的配置であれば、キャリア再結合強度は Burgers ベクトルの大きさに従って大きくなること、SiC 中の転位は、深い準位を持つことが結論された。

2. 4H-SiC 中の積層欠陥

電子線照射下で、基底面転位が部分転位に分解し、その間に積層欠陥が出来ることを見出した。この反応は、照射誘起の欠陥反応であることを示した。また、EBIC 像では積層欠陥が明るく見えること、CL では積層欠陥から 417nm の発光が得られることを見出した。また、積層欠陥は単一の積層不整であり、3C 的な原子配列が実現していることを透過電顕観察によって検証した。CL より、積層欠陥が電子に対する量子井戸となっていることが示唆される。EBIC で見られる積層欠陥の明コントラストは、電子線照射によって生成した電子正孔のうち、電子がこの量子井戸的準位に捕獲されて積層欠陥に沿って散逸し、見かけ上の正孔寿命が延びることで説明した。積層欠陥は、動作中の素子の劣化原因となるが、基底面転位以外でも積層欠陥

が増殖する例を観察し、そのメカニズムを議論した。

3. 4H-SiC における不純物汚染の影響

Fe, Cu の不純物汚染で、基底面転位と積層欠陥の電気的作用が変化することを見出した。Fe, Cu どちらの場合も転位の再結合強度は増加するが、Cu の場合には転位の運動は起きず、積層欠陥が生成されない。これらは、Fe, Cu の転位への修飾の仕方が異なることに原因があると考えられる。

また、これら不純物汚染の特徴を Si の場合と比較して論じた。

4. 多結晶 Si の粒界への不純物偏析

$\Sigma 3$ {112} 結晶粒界に偏析した Fe クラスターを HAADF 法により直接観察した。Si の粒界では、Fe 原子は、粒界上の格子が乱れた位置に、優先的に析出することが検証された。

本研究により、4H-SiC 中の拡張欠陥の電気的・光学的性質に関して、新しい知見が得られた。また、素子動作に悪影響を及ぼす拡張欠陥の電気的作用と、その原因となる拡張欠陥の構造学的特徴が明らかになった。これらの成果は、4H-SiC 素子の信頼性向上に有益な情報をもたらすことが期待される。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は、産業応用が期待される 4H-SiC ウエハにおける拡張欠陥（転位、積層欠陥）の電気的作用と、その原因を明らかにした。

これらの研究結果は、4H-SiC 素子の特性や信頼性の向上に有効であるばかりでなく、拡張欠陥の物理学にも新しい知見をもたらした。

以上の理由から、本論文は博士論文として十分と判断された。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。