

(様式 11)

平成 28 年 2 月 10 日

学 位 論 文 審 査 要 旨 (課程博士)

東京農工大学大学院工学府長 殿

審査委員 主査 熊谷 義直  
副査 直井 勝彦  
副査 野間 竜男  
副査 前田 和之  
副査 村上 尚  
副査 上野 智雄



|                   |   |
|-------------------|---|
| 学位申請者             | 応用化学専攻 平成 25 年度入学 学籍番号 13832104   |
|                   | 氏 名 野村 一城   |
| 申請学位              | 博 士 (工学)  |
| 論文題目              | ハライド気相成長法による酸化ガリウムのホモエピタキシャル成長に関する研究<br>A study on homoepitaxial growth of $\beta$ -Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> by halide vapor phase epitaxy  |
| 論文審査要旨 (2000 字程度) | <p>ベータ酸化ガリウム(<math>\beta</math>-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)結晶は 4.5~4.8 eV のワイドバンドギャップ半導体であり、n 形導電性の制御が可能なことから、高耐圧パワーデバイス用材料として近年注目されるようになった。融液成長法により高品質かつ大口径のバルク結晶を安価に製造する技術も確立しつつあり、長年研究されている次世代パワーデバイス材料(4H-SiC, GaN)と比較しても引けを取らない魅力的な材料である。しかし、実際のデバイス作製では、低抵抗の酸化ガリウム基板上に導電性が制御された厚膜エピタキシャル層が形成されたエピタキシャル基板(ウェハー)が必須となる。従来、分子線エピタキシー(MBE)法で酸化ガリウムのホモエピタキシャル成長が試みられているが、高純度結晶の成長が可能な反面、成長速度は極めて遅く、高耐圧デバイス作製に必要な厚膜(&gt;10 <math>\mu</math>m)の成長は困難であった。</p> <p>本論文では、高純度結晶の高速成長が期待される独自のハライド気相成長(HVPE)法を用いた酸化ガリウムのホモエピタキシャル成長技術の確立と、成長層の物性解明を行った一連の研究結果が述べられている。研究成果は既に英文学術論文誌(査読有)3報に掲載され、高く評価されており質的に充分である。</p> <p>本論文は7つの章から成り立っており、第1章では、省エネルギー化の観点から、次</p> |

(様式 11)

世代パワーデバイス用材料群の物性値およびその成長法を比較し、酸化ガリウム結晶の有しているポテンシャルを紹介している。

第2章では、実際の成長に先立って実施した酸化ガリウムの熱処理実験と、新たに構築したHVPE成長装置およびこれを用いた成長実験について説明している。

第3章では、酸化ガリウムのHVPE成長装置構築に必須の情報となる酸化ガリウム基板の熱的安定性について検討している。様々な処理雰囲気および処理温度を検討した結果、酸化ガリウムは水素が含まれる雰囲気では350℃という極めて低温から分解するが、水素を完全に排除した非水素系では酸化ガリウムは1150℃まで安定であることが明らかにされた。上記の結果を熱処理反応の熱力学的な解析で説明できることも明らかにしている。

第4章では、HVPE法で酸化ガリウムを成長する場合の原料分子種および成長条件を熱力学解析により検討した結果が述べられている。原料に一塩化ガリウム( $\text{GaCl}$ )と酸素( $\text{O}_2$ )を用い、かつこれらの原料分子を窒素( $\text{N}_2$ )をキャリアガスとして用いて輸送することで1600℃という高温まで酸化ガリウム成長が可能であることが示唆され、一方、キャリアガス中に僅か2%水素が混入するだけで成長の駆動力がゼロになることが分かった。

第5章では、第3章および第4章で得られた知見をもとに、 $\text{GaCl-O}_2\text{-N}_2$ 系のHVPE成長装置を構築して実際に酸化ガリウムのホモエピタキシャル成長を試みた結果が述べられている。成長温度1000℃にて、用いた酸化ガリウム基板と同等の高い結晶性を有する結晶を20  $\mu\text{m/h}$ という高速で成長可能なことを確認している。また、不純物取り込みの解析から成長層が極めて高純度であり、電気的特性評価からは残留キャリア(電子)密度が $10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 未満であることが明らかとなった。以上から、HVPE法は高純度・高品質な酸化ガリウムの高速成長法として極めて高いポテンシャルを有していることが分かった。

第6章では、HVPE成長装置に四塩化珪素( $\text{SiCl}_4$ )の供給ラインを付加し、意図的なシリコン(Si)不純物ドーピングを行い、導電性制御を試みた結果が述べられている。検討の結果、 $10^{15}\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の広い範囲でSi濃度を制御できることが確認された。また、電気的特性評価から成長層中のキャリア密度はSi濃度にほぼ等しく、他の不純物による補償が無いことを確認した。

最後に、第7章において本論文の総括を行っている。本研究により、HVPE法により高耐圧パワーデバイス作製に供することのできる導電性が制御された厚膜エピタキシャル層付の酸化ガリウム基板作製技術が確立された。