



学位論文の要旨

専攻名	材料科学 専攻	ふりがな 氏名	なるかわ みつひさ 生川 満久 
学位論文題目 窒化物半導体 MOVPE 成長のその場観察と光学特性に関する研究 (Studies on <i>in situ</i> monitoring during MOVPE growth of nitride semiconductors and optical properties)			
<p>窒化物半導体の AlN, GaN, InN, およびこれらと混晶 AlGaIn, InGaIn 等は, 混晶組成比を変化させることにより, 赤外域の 0.7eV(InN)から深紫外域の 6.2eV(AlN)までの広い範囲でバンドギャップを変化させることができる。そのため, これら窒化物半導体を材料にしたデバイス研究が活発に行われ, 発光ダイオード(LED)や半導体レーザ(LD)が実用化されている。小型・低電力・長寿命・速い応答速度という特徴から, 様々な身の回りの製品に使用され, 凄まじい勢いで普及している。特に LED では家庭用照明の光源として市場の広がりをみせているが, 基板サイズの大口径化と共に, さらなる高効率化が求められている。</p> <p>現在実用化されているデバイスでは極性を有する c 面が使用されているが, 分極電界が発生するため, 内部量子効率の低下が生じる。その有効な解決方法として無極性面を用いたデバイス開発が期待されているが, 無極性面の1つである a 面 GaN 成長では積層欠陥などの影響により表面平坦性や結晶性の改善で大きな課題がある。また, GaN で代表される窒化物半導体は, バルク単結晶を作製することが難しく, HVPE 法による厚膜基板以外では, サファイアや Si などの異種基板上へのヘテロエピタキシャル成長が行われている。ヘテロエピタキシャル成長では成長層と基板との間の熱膨張係数差や格子定数差によって大きな応力が発生し, それにより基板の反り, 転位やクラックが発生する。このことは基板の大口径化時や In を含む混晶では特に大きな問題となり, また面内均一性に優れたデバイスを作製するためには成長時における基板の反りを減らすことが重要である。</p> <p>本研究では, 結晶性の向上と反り低減を目的に MOVPE(Metal-organic Vapor Phase Epitaxy:有機金属気相成長)法を用いてサファイア基板と Si 基板上に窒化物半導体の成長を行った。成長中の表面形態と膜厚は反射光強度で, 反りは2つに分けられたレーザのスポット間隔を測定することによりその場観察した。成長結晶の評価は主に電子顕微鏡, 原子間力顕微鏡による観察, X 線回折と光学測定により行った。</p> <p>2章では, MOVPE 法で無極性面である a 面 GaN を r 面サファイア基板上に成長条件を変えて成長を行い, フォトルミネセンス(PL)測定により評価した。この結果, a 面 GaN 成長では, 結晶性と表面平坦性はリアクタ圧力に大きく依存し, 高品質な a 面 GaN はリアクタ圧力 500Torr で得られることがわかった。その場観察で反り測定を行いながら c 面 GaN, AlGaIn の成長を行った結果, 通常の2段階成長法によるサファイア上 GaN 成長では成長中は反りが増大する。GaN/サファイア上の AlGaIn 成長では格子定数差により成長中の基板の反りが増大したのに対して, AlN/サファイア上の同成長では基板の反りが減少した。</p> <p>面内均一な発光を目指してその場観察反り測定により発光層成長時に反りがゼロになるよう制御した成長を行い, さらに LED 作製を行った。その結果, 光学測定で PL 測定でピーク波長 2nm 以内の均一発光 ($\lambda_p=468\text{nm}\pm 2\text{nm}$), EL 測定でピーク波長 3nm 以内の均一発光 ($\lambda_p=458\text{nm}\pm 3\text{nm}$) が得られた。目視で基板内どこでも明るい発光が確認できた。</p>			

ふりがな 氏名	なるかわ みつひさ 生川 満久	
------------	--------------------	---

3章では、MOVPE法でSi基板上に窒化物半導体の成長を行い、結晶性と表面平坦性を評価した。結晶性を向上するため、FACELO(Facet Controlled Epitaxial Lateral Overgrowth:ファセット制御選択横方向成長)を格子状に行った制限ELO技術を提案し、その方法でGaN成長を行い、光学特性を評価した。その結果、 $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ の範囲で領域を制限した場合、膜厚 $10\mu\text{m}$ においてもクラックフリーの高品質GaNが得られた。広範囲でのクラックフリーGaNを得るために有効である超格子を導入した成長を行い、その場観察による反り測定から成長中の反り低減効果が明かとなり、2インチの基板全体でクラックフリーGaNが得られた。

4章では、GaNとの格子整合性が比較的良好な3C-SiCをSi上に形成した基板を用いて、窒化物半導体成長を行い、結晶性と表面平坦性を評価した。SIMOX(Separation by Implanted oxygen)はイオン打ち込み法でSi基板に SiO_2 を作製したもので、ここではその上に3C-SiCを堆積させたものも基板(SiC/SiO₂/Si)として使用した。GaN成長させるために、バッファ層AlGa_xN、AlNの膜厚と結晶性について検討を行った結果、バッファ層は膜厚10nmでGaNが平坦かつ高品質となることがわかった。AlN/GaNの超格子層の導入により $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ の基板で、ほぼ全面でクラックフリーGaNが得られた。その場観察による反り測定から成長中の反りの低減が認められた。

5章では、本研究の総括を行い、今後の課題を示した。