



Title	分子線エピタキシー成長法を用いたGaNナノロッドの形成とその応用に関する研究
Author(s)	徐, 鍾旭
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/57471">https://hdl.handle.net/11094/57471</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href=" <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> ">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	徐錦旭
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第23375号
学位授与年月日	平成21年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学位論文名	分子線エピタキシー成長法を用いたGaNナノロッドの形成とその応用に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 朝日一 (副査) 教授 近藤正彦 教授 伊藤利道 教授 森勇介 教授 片山光浩 教授 杉野隆 教授 尾崎雅則 教授 栖原敏明 教授 谷口研二 教授 森田清三 教授 八木哲也 准教授 長谷川繁彦

#### 論文内容の要旨

本研究では、分子線エピタキシー成長法(MBE)を用いてSi基板上に形成されるGaNナノロッドの成長メカニズムの解明、空間的分布の制御やフィールドエミッタへの応用を目的して、①Si基板表面状態がGaNナノロッドの形成に及ぼす影響、②成長条件によるGaNナノロッドの形状変化、③選択成長を用いたGaNナノロッドの空間的な分布の制御、④フィールドエミッタとしての特性を調べた。

代表的なSi基板であるSi(100)、Si(111)基板上にGaNナノロッドの成長を行い、Si基板とGaNナノロッドとの方位関係を反射高速電子線回折(RHEED)を用いて示した。その結果、Si(111)面上ではGaNナノロッドのエピタキシャル

成長が可能であることが分かった。また、GaNナノロッドの成長後に透過型電子顕微鏡(TEM)観察を通じ、Si基板表面は、GaNの形成前に、窒化されることを確認した。従って、Si基板表面を意図的に窒化を行い、基板表面の状態(つまり、自然酸化膜の有無)により基板表面が窒化される度合いをオージェ電子分光法(AES)とTEMで定性的・定量的に分析した。その結果、自然酸化膜がないSi表面では $\text{Si}_3\text{N}_4$ が、自然酸化膜のある表面では $\text{SiO}_x\text{N}_y$ が形成されることと、自然酸化膜は表面窒化を抑制していることが分かった。また、意図的に窒化したSi基板表面上にGaNナノロッドを成長して、主な成長段階をRHEEDで観察しSi基板の表面窒化がGaNナノロッドの形成に及ぼす影響を調べ、表面窒化はGaNナノロッドのc軸配向性をよくすることを明らかにした。

GaNナノロッドの形成過程を理解し、その形状を制御するため、成長時間、Ga流量、成長温度を変化させてGaNナノロッドを作製し走査型電子顕微鏡(SEM)でそのモーフオロジーを観察した。成長条件により変化したGaNナノロッドの直径と高さの結果を土台にGaNナノロッドの成長は、①GaN低温バッファ層の成長とそのアニーリングにより初期核が形成される過程、②ナノロッドの成長初期に、その成長条件に応じて核のサイズが変化する過程、③遅いa軸方向の成長と速く一定なc軸方向に成長する過程、に大別できることが分かった。

RF-MBEでの選択成長は容易ではなく研究報告例が少ない。本研究では、GaNナノロッドの空間的な分布の制御のため、今まで報告されていないWマスクを用いたRF-MBEでのGaNナノロッドの選択成長を試みた。まず、選択成長が可能な成長条件を探すため、Ga流量、成長温度を変化させて成長を行いSEM、RHEED、X線回折(XRD)分析を行った。その結果、850-870°Cの成長温度と $1.0 \times 10^{-7}$ TorrのGa流量、870°Cの成長温度と $0.8-1.0 \times 10^{-7}$ TorrのGa流量の成長条件下ではGaNナノロッドの選択成長が可能であることが分かった。また、RHEEDとAES分析を通じ、主な成長段階のWマスクの表面変化を観察し、 $\text{WO}_3 \rightarrow \text{WO}_2 \rightarrow \alpha\text{-W}$ と変化することが分かった。これに基づき、パターニングしたW/SiO<sub>2</sub>/Si基板上にGaNナノロッドの選択成長を行い、GaNナノロッドの空間的な分布の制御ができるることを明らかとした。

GaNナノロッドをフィールドエミッタとして応用するため、作製したGaNナノロッドの電界放射特性を2極構造で測定し、電界放射に有利なSi基板表面状態とGaNナノロッドの形状を明らかとした。最後に、パターニングしたW/SiO<sub>2</sub>/Si基板上に形成したGaNナノロッドの電界放射特性を測定した。その結果、形成されたフィールドエミッタアレイ(FEA)が与えるエッジ効果のため、より良い電界放射特性が得られることが分かった。

## 論文審査の結果の要旨

本論文では、分子線エピタキシー成長法(MBE)を用いてSi基板上に形成されるGaNナノロッドの形成メカニズムの解明、空間的分布の制御、電界放射源応用の基礎の確立を目的として、Si基板表面状態がGaNナノロッドの形成に及ぼす影響、成長条件によるGaNナノロッドの形状変化、選択成長を用いたGaNナノロッドの空間的な分布の制御、電界電子放射特性について研究しており、以下の結果を得ている。

(1) Si基板表面はGaNの形成前に窒化されることを確認し、自然酸化膜のないSi表面では $\text{Si}_3\text{N}_4$ が、自然酸化膜のある表面では $\text{SiO}_x\text{N}_y$ が形成されることと、自然酸化膜は表面窒化を抑制することを見出している。また、GaNナノロッド形成前のSi基板の表面窒化はGaNナノロッドのc軸配向性を良くすることを明らかにしている。

(2) 成長時間、Ga分子線強度、成長温度を変化させた成長実験により、GaNナノロッドの成長は、(i) GaN低温バッファ層の成長とその熱処理により初期核が形成される過程、(ii) ナノロッドの成長初期にその形成条件に応じて核のサイズが変化する過程、(iii) a軸方向(基板面に平行方向)の遅い成長とc軸方向(基板面に垂直方向)の速く一定な成長が進行する過程、の3過程に大別できることを明らかとしている。

(3) MBE法でのGaNの選択成長は容易ではなく研究報告例が少ない。Wを選択成長マスクとして用いることにより、比較的高い成長温度と低いGa分子線強度下でGaNナノロッドの選択成長が可能であることを見出している。また、GaNナノロッドの選択成長の進行につれて、Wマスク表面では $\text{WO}_3 \rightarrow \text{WO}_2 \rightarrow \alpha\text{-W}$ と変化していることを明らかとしている。これに基づき、パターニングしたW/SiO<sub>2</sub>/Si基板上にGaNナノロッドの選択成長を行い、GaNナノロッドの空間的な分布の制御に成功している。

(4) GaNナノロッドの電界放射特性に関して、電界放射に有利なSi基板表面状態とGaNナノロッドの形状を明らかとし、さらに、パターニングしたW/SiO<sub>2</sub>/Si基板上に形成したGaNナノロッドではエッジ効果のため、より良い電界放射特性が得られることを明らかとしている。

以上のように、本論文は、GaNナノロッドの形成・成長過程の解明、選択成長によるナノロッドの空間的な分布の制御、より良い電界電子放射特性の得られる条件の把握に成功している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。