

○課題名 「ヘテロエピタキシーと機能素子の先導的研究」
○研究代表者名 「江川 孝志」
○中核機関名 「名古屋工業大学」

研究の目標・概要

1. 目標

- 研究開始後1年目の目標：AIN中間層を用いた大口径Si基板上のGaN系半導体成長技術の確立
- 研究開始後2年目の目標：Si基板上へのInGaN量子ドット構造及びAlGaN/GaNヘテロ構造の成長技術の確立
- 研究開始後3年目の目標：Si基板上のInGaN LED及びAlGaN/GaN HEMTの試作

2. 内容

従来の低温バッファ層を用いた二段階成長法とは異なり、高温で成長したAIN中間層を用いて4インチ以上の大口径Si基板上にInGaN LED及びAlGaN/GaN HEMTを作製する。AIN層は絶縁体であり、①Si上のLEDでは縦方向に電流を流す必要があるので、超薄膜のAIN層を成長させた後接合を用いて動作電圧を低減させる。②Si上のHEMT構造では、厚膜の絶縁性AIN層を用いることによりリード電流を低減させる。このように、デバイス構造に応じたAIN層の特性を活用する(LEDでは量子効果、HEMTではセミクンタ特徴)。

3. 緊急性

AlInGaPを用いた赤色LEDに代表されるように、日本で技術が開発されても生産拠点が海外に移り、国内では半導体産業の空洞化現象が起っている。同様な現象がサファイア基板上のGaN系デバイスに関しても起りつつある。国内に新しい半導体産業を育成させ、新規事業を創出させ、早急に国際的なニシティップを取ることが重要・急務である。

4. 独創性

名工大を中心で研究開発されてきたSi上のGaN系ヘテロエピタキシャル成長技術は、サファイア上のGaN系LEDとして実用化された。大口径Si上に高温成長させたAIN層を用いて高品質GaN層を成長させ、デバイス構造に応じてAIN層の膜質・特性を使い分ける。さらに、LEDの活性層に関しては、欠陥を利用した選択成長法を用いて量子ドットを自然形成するため、量子ドット領域は無欠陥となり長寿命・高性能化を図る。

5. 他の競争的資金等には馴染まない理由

本研究は、名工大で開発された半導体とセミクンタ特徴を兼ね備えた基礎技術を用いて、大口径Si上に高品質GaN系半導体を成長させた後まで作製するという産業レベルを視野に入れた先導的研究である。これを達成するには、大学の基礎技術を核として、気相反応を抑制した大型MOCVD反応炉の設計・試作、サブミクロンのリズム加工技術等の異なる分野の技術をもつ企業が結集する必要があるため、①先見性、②応用分野の広さ(経済的効果)、③学術的インパクトの高さが要求される「先導的研究等の推進」への公募が最も相応しいものと考えている。

諸外国の現状等

1. 現状

2インチのサファイア基板上GaN系LEDは実用化されており、GaN系電子デバイスは高価なSiC基板上への研究が進みつつある。しかし、最近、台湾でも低価格のLEDが生産されているため、国内の競争力が低下しつつある。ドイツ、フランスの研究機関でSi上のGaN系LEDの研究が行われているが、基板サイズも小さく特性も不十分であるため、安価な大口径Si基板を用いた産業レベルでのGaN系デバイスの研究開発が強く望まれている。

2. 我が国の水準

サファイア基板上のGaN系LEDに関する日本の水準は高い。GaN系電子デバイスの研究は少し立ち後れている。このような状況の中で、名工大のSi上のヘテロエピタキシャル成長技術及びデバイスに関する研究は、水準が高く国際的にも高い評価を受けており、今後、産業として発展させる必要がある。

研究進展・成果がもたらす利点

1. 世界との水準の関係

現在、名工大はSi基板上のGaN系半導体のヘテロエピタキシャル成長技術の研究分野では世界のトップレベルにある。本研究では、長年、蓄積してきた基本技術を用いて大口径Si基板上にGaN系LED及びHEMTを作製するものであるため、本研究の成果は世界に先駆ける有用な技術となると予想される。

2. 波及効果

本研究では高温成長したAIN層という独自の結晶成長技術を用いて大口径Si基板上に高性能GaN系デバイスを作製するため、ハイカット、ロコスト、ハイリュームの観点から、産業的波及効果は多大である。また、従来のヘテロエピタキシャルの概念と異なり、欠陥を利用して欠陥の無い量子ドットを自然形成するため、新しい成長技術を提供するものである。

研究体制図及び研究内容分担

課題名：ヘテロエピタキシーと機能素子の先導的研究
研究代表者：江川孝志、中核機関名：名古屋工業大学

研究運営委員会

サブテーマ「大口径Si基板上のGaN系半導体成長技術の確立に関する研究」 責任者：江川孝志

名古屋工業大学
極微デバイス機能システム研究センター

研究内容

- (1) 高温成長AlN中間層を用いた大口径(4インチ)Si基板上のGaN層の高品質化
・デバイス構造に応じてAlN層の特性を使い分ける。
- (2) 4インチ径Si基板上の無欠陥量子ドット構造の成長
- (3) 4インチ径Si基板上のAlGaN/GaN hetero構造の成長

*寄附研究部門に設置されている量産型MOCVD装置（4インチ対応）を使用する。

↑ 結晶成長技術開発と装置開発の連携により大口径化・量産化に伴う諸問題を迅速に解決

日本酸素（株）

研究内容

- (1) 気相反応を抑制した6インチ基板用MOCVD反応炉の設計・試作
・AlGaN成長中のTMAとNH₃の気相反応をいかにして防ぐか？



方針：

1. 大学の基礎技術を核とする
2. 大学と装置メーカー、デバイスマーカーが連携する（分野横断的対応）
3. 基礎技術から量産化・生産技術までの一貫した研究開発
 - ・量産型MOCVD装置
 - ・結晶成長技術
 - ・結晶評価技術
 - ・デバイスプロセス技術
 - ・デバイス特性評価

サブテーマ「大口径Si基板上のGaN系デバイスに関する研究」 責任者：神保孝志

名古屋工業大学
都市循環システム工学専攻

研究内容

- (1) AlN/Si界面の構造・電気的特性評価
- (2) Si上のInGaN量子ドットLEDの試作及び高性能化

↑ 結晶評価とプロセス技術の連携により要素技術の確立及び光・電子デバイス特性の高性能化

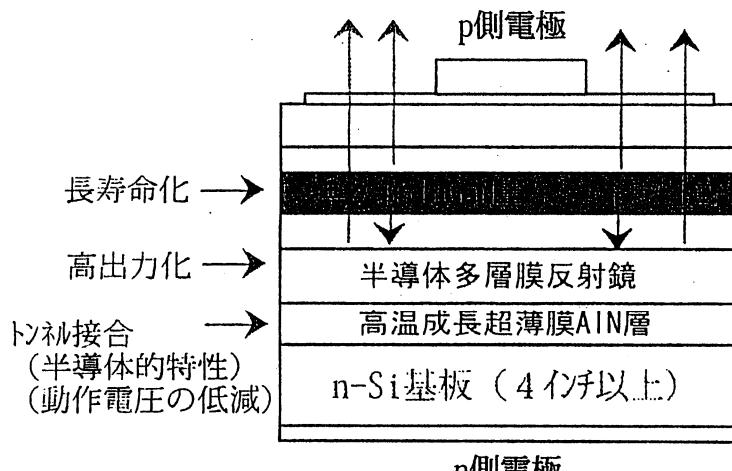
沖電気工業（株）

研究内容

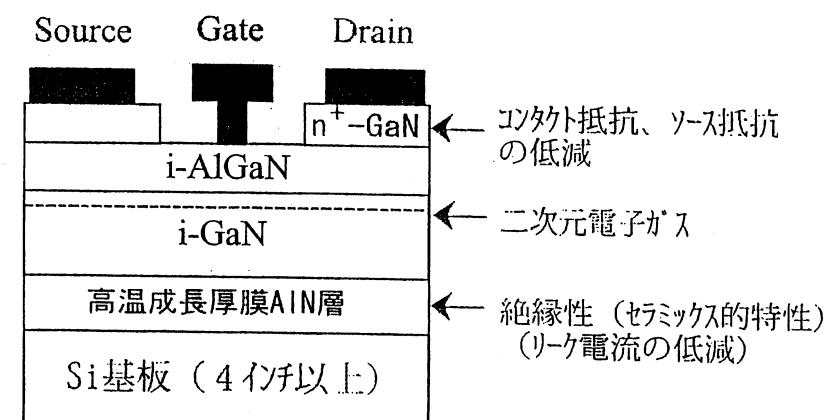
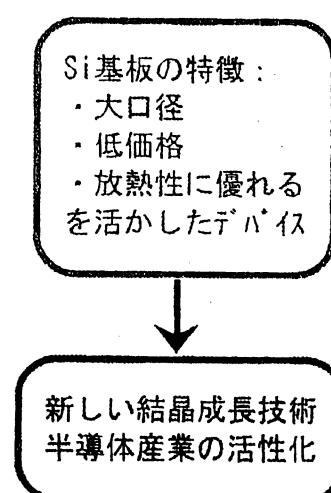
- (1) Si上のサブミクロンT型リセグメント構造 AlGaN/GaN HEMTの試作

最 終 目 標

1. 高温成長AlN中間層を用いた大口径（4インチ径以上）Si基板上のGaN系半導体結晶成長技術の確立
2. GaN系半導体用量産型有機金属気相成長（MOCVD）装置の開発
3. 4インチ径以上のSi基板上の無欠陥InGaN量子ドットLEDの成長及び作製
 - ・膜厚分布：±5%以下、波長分布：±10nm以下
 - ・波長：405 nm（紫外）、465 nm（青）、510 nm（緑）
 - ・動作電圧：3.5 V以下
 - ・光出力：ランプ換算3 mW以上（サファイア基板上のLEDと同程度）
 - ・寿命：1000時間以上
4. 4インチ径以上のSi基板上のAlGaN/GaN HEMTの成長及びサブミクロンT型リセグメント構造HEMTの作製
 - ・Al組成面内分布：±10%以下
 - ・二次元電子ガス濃度： $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 以上、二次元電子ガス移動度： $1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上
 - ・最大ドレイン電流密度：500 mA/mm以上、最大相互コンダクタンス：150 mS/mm以上
 - ・最大発振周波数：100 GHz以上（高周波・高出力用電子デバイス）



Si基板上の無欠陥InGaN量子ドットLED



Si基板上のサブミクロンT型リセグメント構造
AlGaN/GaN HEMT