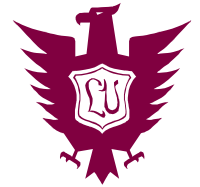


窒化物ナノコラム結晶におけるナノ物性の解明と新機能性デバイス応用技術の探索

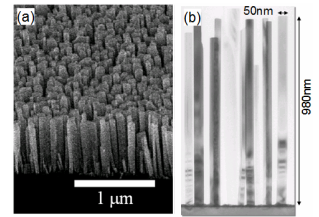


研究代表者 菊池昭彦 (理工学部 機能創造理工学科)
共同研究者 関根智幸 (機能創造理工学科)、和保孝夫 (情報理工学科)

研究の背景と目的

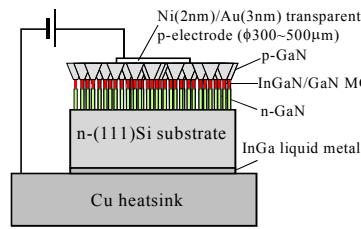
GaN系ナノコラムは、直径数十~数百nmの柱状ナノ結晶であり、貫通転位を含まず優れた発光特性を有することから、次世代の高性能発光デバイスやナノ光電子デバイス材料として期待されているが、その潜在能力を発現させるためには、結晶成長技術とデバイス応用技術の更なる進展が必要である。

本研究では、GaN系ナノコラムのLED応用技術の開発、および位置と形状の制御を可能とする選択成長技術の開発を行った。また、ナノコラムの物性を解明するために、ラマン散乱および電気伝導特性、磁気抵抗などの評価を行い、ナノ結晶特有の物性現象について検討した。

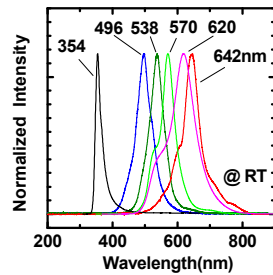


GaNナノコラムの電子顕微鏡像

ナノコラムLED



Si基板上に成長したInGaN/GaN ナノコラムLEDの構造図



ナノコラムLEDの発光スペクトル

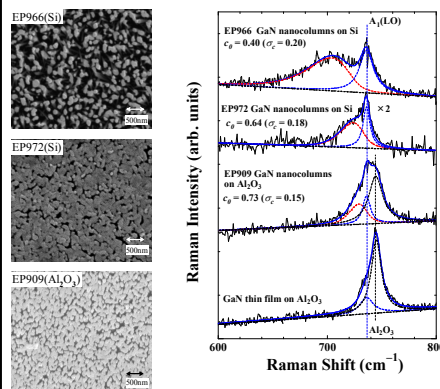


ナノコラムLEDの発光の様子

紫外~赤色域で発光するナノコラムLEDの作製に成功

GaNナノコラムの物性評価

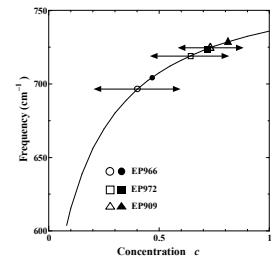
光散乱によるFröhlichモードの観測とコラム密度評価



密度の異なる3種類のGaNナノコラムのSEM像

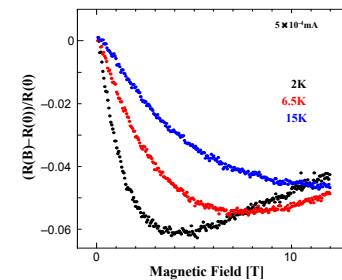
ナノコラムではFröhlichモード(表面フォノン)が現れ、そのラマンスペクトルはコラム密度に強く依存

sample	Raman scattering	SEM photograph
EP909	$c_c=0.73, \sigma_c=0.15$	$c_c=0.75 \pm 0.03$
EP972	$c_c=0.64, \sigma_c=0.18$	$c_c=0.75 \pm 0.10$
EP966	$c_c=0.40, \sigma_c=0.20$	$c_c=0.40 \pm 0.04$



ラマンスペクトルよりコラム平均密度 c_c および分布パラメータ σ_c が求まる。

磁気抵抗-温度依存性



低温で最小値を示す負の磁気抵抗を観測

量子数 $n=0$ のランダウ準位のサイクロトロン半径を磁気長(l)といい次式で表される

$$l = \sqrt{\frac{\hbar}{eB}}$$

•最小値 $B=3$ Tで磁気長は約14 nm

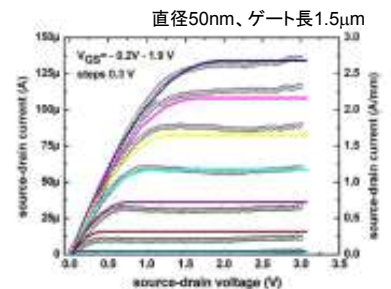
•直径にすると、ナノコラムの直径とほぼ一致

ナノワイヤFETの理論解析

GaNナノコラムのFET応用に向け、InAsナノワイヤFETを例として、実デバイス特性を精度よく説明できる理論モデルを構築

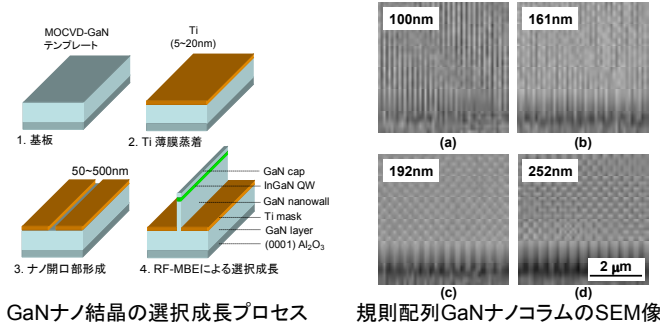
従来モデル:
ソース抵抗を考慮しない
→ドレイン電流が5倍程度大

本研究のモデル:
7kΩのソース抵抗を考慮
→実験値とほぼ一致



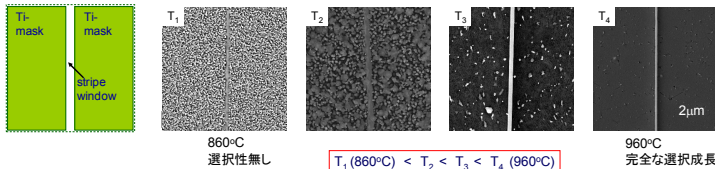
InAsナノワイヤFETのドレイン特性

GaNナノコラムとGaNナノウォールの選択成長



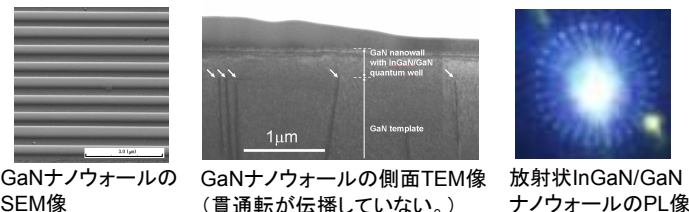
GaNナノ結晶の選択成長プロセス

規則配列GaNナノコラムのSEM像



Tiマスク上GaN選択成長の成長温度依存性

高温成長により、Ti表面上でのGa原子の再離脱が促進し、Ti上へのGaN成長核形成が抑制され、MBEによるGaNの選択成長を実現



GaNナノウォールのSEM像

GaNナノウォールの側面TEM像 (貫通転位が伝播していない。)

放射状InGaN/GaNナノウォールのPL像

まとめ

- 紫外から赤色までの広い波長域におけるGaN系ナノコラムLEDの実証と金属膜への転写技術(未記載)を開発した。
- GaNナノコラムのラマン散乱、電気抵抗(未記載)、磁気抵抗を測定し、ナノコラム構造特有の現象を見出した。
- TiマスクによるGaN選択成長技術を開発し、GaNナノコラムの位置・形状制御およびGaNナノウォールの成長に成功した。
- GaNナノコラムのFET応用に向け、InAsナノワイヤFETを例とした実デバイス特性を良く説明できる理論モデル構築の指針を得た。