

マイクロ X 線回折による GaN 系レーザ構造の局所領域歪み解析

Local strain analysis in GaN based laser structures using x-ray microdiffraction

横川俊哉¹、加藤 亮¹、木村 滋²、福田一徳²、坂田修身²

¹ 松下電器産業（株）先行デバイス開発センター、²（財）高輝度光科学研究センター

¹ Advanced Devices Development Center, Matsushita Electric Ind. Co., Ltd.

² Japan Synchrotron Radiation Research Institute

サブミクロンサイズに集光された X 線ビームを用いて、GaN 系レーザのリッジストライプ微小領域における X 線回折測定を行い、局所歪みの評価を行った。リッジストライプ領域で得られた X 線ロッキングカーブとストライプ領域外のロッキングカーブとの比較において違いが観測され、リッジストライプ領域には局所的な歪みが内在することを見いだした。この局所的な歪みは P 型 AlGaIn 層の C 面内の引っ張り歪みが、リッジ構造により $\langle 11\text{-}20 \rangle$ 方向で解放されることに起因すると考えられる。

We characterized local strain in GaN-based ridge-stripe laser structure using x-ray microdiffraction local strain analysis. Existence of the local strain in ridge-stripe region of laser structure is confirmed by the peak shift in X-ray rocking curve from the ridge-stripe region in comparison with the etched region. This local strain is related to the lattice relaxation along $\langle 11\text{-}20 \rangle$ direction in the C plane of P-type AlGaIn layer in the ridge-stripe region.

はじめに

GaN を始めとする III-V 族窒化物半導体の研究開発は近年急速に進展し、青色、緑色、あるいは白色 LED や青紫色レーザとして実用化が進み、すでに大型ディスプレイ、交通信号機、携帯電話のバックライト、次世代 DVD など多方面に応用が展開している。

このようなレーザや LED は AlGaIn、GaN、InGaIn などのナノメータ厚さの格子不整合系材料から成り、歪みを内在した多層構造で構成されている。更に、レーザにおいては歪みを内在した多層構造を微細なストライプ構造に加工しなければならないため、異方性の歪

みや不均一な歪みが複雑に内在していることが予測される。このような複雑な歪みは、デバイス特性に様々な影響を及ぼすことが予測されるため、格子不整合系の GaN 系レーザ構造における歪みバランスを調べ、デバイス特性と比較することは、デバイス特性の向上に大きく役立つと期待できる。

通常、多層膜構造の歪測定は X 線回折法を用いて行なわれるが、レーザ構造の場合、幅数ミクロンのストライプ構造であるため、通常の X 線回折法を用いてストライプ幅での歪揺らぎを測定することは不可能である。このような測定を行なうためには、サブミクロン

オーダーのビームが利用でき、高角度分解能で5桁程度のダイナミックレンジの測定を行なう必要がある。この条件を満たす測定は、SPring-8を利用した高分解能マイクロ回折法以外には存在せず、本研究を行う上で、その利用は必要不可欠である。

本研究では放射光を利用したマイクロX線回折法により、実デバイス構造でのInGa_N系多重量子井戸活性層やAlGa_Nクラッド層の歪みについて、ストライプ幅方向の面内分布の分析を行ったので報告する。

実験方法

マイクロ回折装置本体は、BL13XU実験ハッチ3の大型ゴニオメータの上流に設置する。

①ゾーンプレートとスリットを組み合わせることによりサブミクロンサイズに集光されたX線ビームを試料のレーザストライプ領域に入射し、 2θ を(0002)回折ピーク位置に固定して、試料を ω スキャンすることによりGa_N(0002)ピークを確認した。

②①の測定で回折ピークが現れる位置に試料を固定し、ストライプ幅方向に試料をスキャンすることにより、ストライプ領域を確認した。

③②で確認できたストライプ領域内外で試

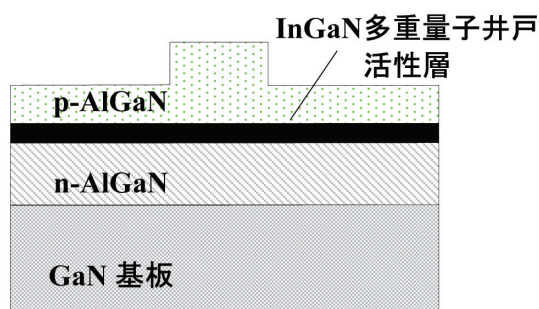


図1. Schematic figure of the sample structure.

料位置を $0.5\ \mu\text{m}$ ステップで移動しながら ω スキャンにより、InGa_N、Ga_N または AlGa_N(0002) 反射を測定した。

さらに上述の(0002)反射と同様の方法により(10-14)非対称反射の測定も行った。

図1は本研究に用いた試料の構造を示す。MOCVDによってGa_N基板上にN型AlGa_Nクラッド層、InGa_N多重量子井戸活性層、P型AlGa_Nクラッド層を順次成長した²⁾。Ga_N基板の格子定数に対しAlGa_Nの格子定数はやや小さく、InGa_Nの格子定数はやや大きいため、本試料のような多層構造においてはAlGa_NにはC面内で引っ張り歪み、InGa_Nには圧縮歪みが内在している。

次にこのエピタキシャル基板にドライエッチング加工を施し、 $\langle 1-100 \rangle$ 方向に幅 $1.5\ \mu\text{m}$ 、高さ $0.5\ \mu\text{m}$ のリッジストライプ構造を形成した。このリッジストライプ領域およびストライプ領域外のドライエッチ面からのX線回折を測定、比較することで、リッジストライプ領域に内在する局所的歪みを調べた。

結果と考察

図2にレーザのリッジストライプ領域およびストライプ領域外のドライエッチ面から得られた(0002)反射のロッキングカーブの比較を示す。ストライプ領域外から得られたX線回折においては、低角度側からInGa_N層、Ga_N基板、AlGa_Nクラッド層からの3つのピークが観測された。N型AlGa_Nクラッド層とP型AlGa_Nクラッド層のピークは、設計Al組成が同一であるため、お互い重なり合った単一ピークを示した。

一方、ストライプ領域から得られたX線回折では、P型AlGa_Nクラッド層からのピーク

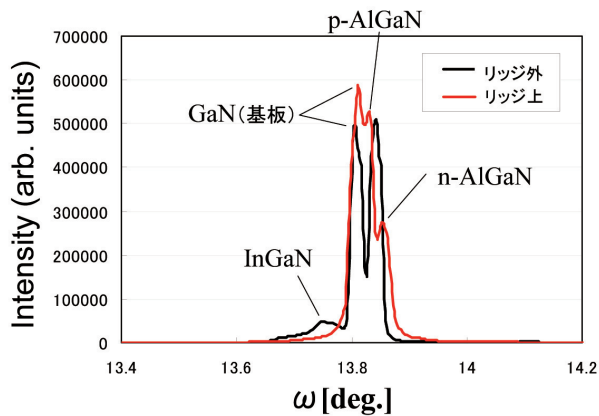


図2. X-ray rocking curves of (0002) reflection from the ridge-stripe region and the dry-etched region.

が低角度側にシフトし、N 型 AlGaIn クラッド層からのピークとの分離が確認された。これはストライプ領域では P 型 AlGaIn クラッド層の C 軸方向の格子間隔が広がり、P 型 AlGaIn に C 軸方向の引っ張り歪みが存在していることを示す。

対称反射においては C 軸方向の格子歪のみが観測されるため、次に C 面内方向 (C 軸に垂直方向) の格子歪の分布も詳細に調べるため、(10-14) 非対称反射の測定も行った。図 3 にレーザのリッジストライプ領域およびストライプ領域外のドライエッチ面から得られた (10-14) 反射のロックンングカーブの比較を示す。どちらの領域における X 線回折において

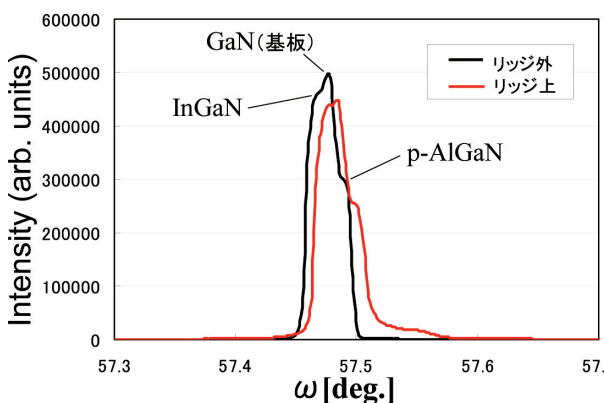


図3. X-ray rocking curves in (10-14) reflection from the ridge-stripe region and the dry-etched region.

も、低角度側から InGaIn 層、GaN 基板、AlGaIn クラッド層からの 3 つの回折ピークが観測された。

ストライプ領域外のドライエッチ面から得られた各回折ピークに対し、ストライプ領域から得られた X 線回折では全ての回折ピークにおいて高角度側へのシフトが確認された。この結果から、リッジストライプ領域においては C 面に対する (10-14) 面の傾きが大きくなっていると考えられ、C 面に水平方向に圧縮歪が生じているとを示唆する。

図 4 に (10-14) 反射のロックンングカーブの面内マッピングの結果を示す。リッジストライプ領域において、X 線回折ピークは高角度側へシフトが観測され、リッジ構造と格子不整合に起因した局所的な歪が内在することが確認された。

まとめ

サブミクロンサイズに集光された X 線ビームを用いて、GaN 系レーザのリッジストライプ微小領域における X 線回折測定を行い、局所歪みの評価を行った。リッジストライプ領域で得られた X 線ロックンングカーブとストラ

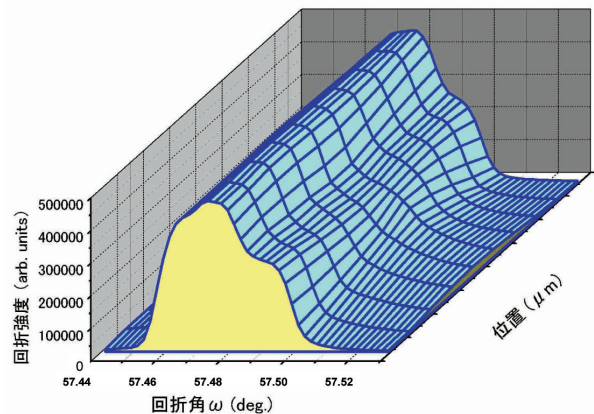


図4. Spatial distribution of X-ray rocking curves in (10-14) reflection.

イプ領域外のロッキングカーブとの比較において違いが観測され、リッジストライプ領域には局所的な歪みが内在することを見いだした。この結果は有限要素法による歪み解析結果とも傾向が一致した。この局所的な歪みは P 型 AlGaIn 層の C 面内の引っ張り歪みが、リッジ構造により $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ 方向で解放されることに起因すると考えられる。

引用文献

- 1) S. Kimura, Y. Kagoshima, K. Kobayashi, K. Izumi, Y. Sakata, S. Sudo, Y. Yokoyama, T. Niimi, Y. Tsusaka and J. Matsui, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.41 (2002) pp. L1013.
- 2) A. Ishibashi G. Sugahara, Y. Kawaguchi and T. Yokogawa, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.42 (2003) pp. L1248.