

# ナノワイヤーから成長した GaAs/Si 薄膜結晶のひずみ緩和機構の研究

## Strain relaxation of GaAs thin layer crystals grown from nano-wires on Si wafer

水野 薫<sup>1\*</sup>, 岡本博之<sup>2</sup><sup>1</sup> 島根大学総合理工学部 〒690-8504 松江市西川津町 1060<sup>2</sup> 金沢大学医薬保健研究域 〒920-0942 金沢市小立野 5-11-80

### 1 はじめに

ヘテロエピタキシャル半導体薄膜は基板と薄膜の物質が異なるにも関わらず、同じ方位を有する。そのため、格子定数の違いによる歪みの発生が避けられない。膜厚が薄いうちは弾力的な変形により、歪みの緩和が行われるが、ある厚さを越えると塑性変形を起こして緩和する。その時に導入される転位が不整合転位、はじめて不整合転位の発生する厚さが臨界膜厚とよばれている。この転位はデバイスの性能を悪化させたり寿命を短くすることが知られている。そのため、バッファ層を基板と薄膜の間に挟むなど、不整合転位を発生させない工夫が試みられている。他の方法として針状のナノ結晶を基板上に多数成長させたのち、成長温度を変化させて主として結晶の上部を太らせて隣接する結晶同士を合体させ、薄膜を成長させる方法が提案されている。[1] この薄膜結晶は基板と針状のナノ結晶で結合しているため、通常のヘテロエピタキシャル半導体薄膜とは異なる歪み緩和が生じていると期待できる。そのため、不整合転位が存在しない可能性もあり、もしそのような薄膜結晶であるならば、前述の不整合転位により引き起こされる弊害を取り除くことが可能である。

そこで本研究では、臨界膜厚よりも厚い薄膜結晶の表面反射トポグラフを撮影することにより、歪み緩和の結果として生じる格子欠陥の有無を観察する。さらに格子欠陥が観察された場合、欠陥の同定を行うため、異なる回折面によるトポグラフも撮影する。このことにより格子欠陥の歪み場を決定し、最終的には格子欠陥の種類を明らかにする。以上の研究により、最終的にナノ結晶より成長したヘテロエピタキシャル半導体薄膜の歪み緩和機構を明らかにする

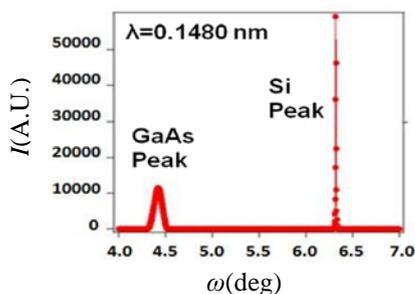


図1. ロッキングカーブ

ことを目的とする。

### 2 実験

無転位 Si (111)基板上に MOVPE 法により GaAs ナノワイヤー結晶を多数成長させる。その後成長温度を下げ、径方向に成長させナノワイヤー同士を合体させ単結晶薄膜試料とした。次に (044)を回折面として波長 1.478 Åの単色X線を用いて Si 基板結晶からの回折線を検出して X 線トポグラフを撮影した。さらに同じ波長で、GaAs からの回折線を検出して、この条件でもトポグラフの撮影を行った。この条件で、入射X線と試料表面のなす角(入射角)は約 3°であるので、X線は数百 μm まで侵入している。

そこで X 線の侵入の深さを数十 nm 以下にするため、ブラッグ条件を満たしながら X 線のエネルギーを徐々に高くして、入射角を 0.1°にした。この条件での波長は 1.335 Åであった。この微小角入射条件下で上記と同様にトポグラフを撮影した。逆格子マップの測定はトポグラフの撮影後に行った。また、本実験のトポグラフの撮影には分解能の高い画像を得るために原子核乾板を用いた。

### 3 結果および考察

図1に1.478 Åの単色X線を用いて(440)を回折面として測定したロッキングカーブを示す。この図にはSi基板からのシャープで高い回折ピークとGaAs薄膜によるブロードで弱いピークがみられた。このうち基板(Si)の回折ピークで撮影されたトポグラフを図2(a), (b)に示す。厚い薄膜を付けたことにより、試料が反っているため、回折角をわずかにずらして3または4回に分けて2枚のトポグラフを撮影した。この2枚を合成した写真を図2(c)に示す。また、同じ波長を用いて、薄膜(GaAs)の回折ピークで撮影したトポグラフを図3に示す。この写真に局部的に回折条件を満たさず、白く抜けている微小領域は観察

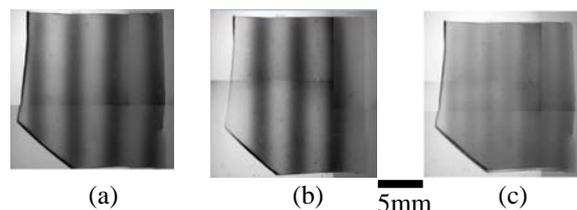


図2. Si基板のトポグラフ

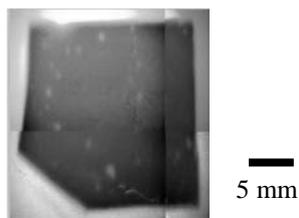


図 3. GaAs 薄膜のトポグラフ

されない。このことは GaAs 薄膜が単結晶として基板の上に成長していることを示している。

さらに、図 2, 3 に示す写真いずれにも転位線は見られなかった。つまり臨界の膜厚(4 nm)を大幅に越えた膜厚(約 1  $\mu$ m)を有する薄膜試料にもかかわらず不整合転位は観察されなかった。そこで光学顕微鏡により、写真を拡大して観察した。図 4 (a) に拡大した写真を示す。拡大すると多数の斑点が観察できた。この斑点の大きさは原子核乾板の乳剤粒子の大きさよりも、数倍から数十倍大きい。写真乳剤の粒子の写真を図 4 (b) に示す。このことから乾板に見られた斑点に対応する歪みは基板から生えているナノワイヤー結晶の基部に存在する可能性がある。

次に、同じエネルギーの X 線と回折面を用いて測定した逆格子マップの結果を図 5 に示す。図 5 (a) は図 1 に示すロックンクカーブの Si の回折ピーク付近で、5 (b) は GaAs の回折ピーク付近で測定した結果である。逆格子マップの測定は  $\omega$  および  $2\theta$  軸を回転して測定するため、結果は通常  $\omega$  と  $2\theta$  のグラフであるが、図 5 では座標軸を変換して試料表面に平行な軸  $q_y$  と垂直な軸  $q_h$  で示しており、回折ピークの断面を表している。そのため、グラフ上での広がりには格子定数の分布を示している。この図から、GaAs 薄膜の格子定数の広がりには水平方向では Si 基板と同程度であるが、垂直方向は 10 倍程度広がっていることが分かる。以上の結果から、ナノワイヤーから成長した GaAs 薄膜の歪み緩和は不整合転位を発生させるのではなく、Si 基板からナノワイヤーが生えているところで弾性的に緩和していると考えられる。

#### 4 まとめ

Si 基板上に GaAs ナノワイヤーを密生させ、さらに横方向に成長させ薄膜化させたヘテロエピタキシ

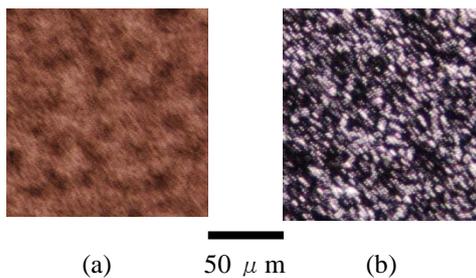


図 4. 拡大したトポグラフ

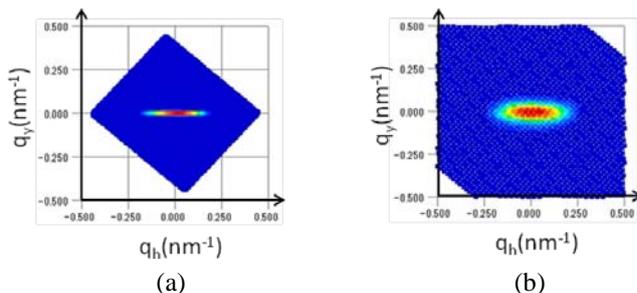


図 5. 逆格子マップ

ナル半導体薄膜の界面における歪みは基板からナノワイヤーの生えている場所で弾性的に緩和されている可能性が高い。

#### 謝辞

試料はイタリアの国立結晶学研究所(IMM-CNR)の Paola Prete 博士らに作製・提供していただいた。さらに九州シンクロトロン光研究センターにおける実験に際して石地耕太郎博士および川戸清爾博士にご協力いただいた。ここに感謝致します。

#### 参考文献

[1] Paola Prete and Nicola Lovergine : Nanowires (InTech, New York, 2010) pp51.

\* mizuno@riko.shimane-u.ac.jp