

九州シンクロトロン光研究センター 県有ビームライン利用報告書 (P F 協力利用)

課題番号 : 1105039PF

PF 受理番号 : 2010G672

(様式第 2 号)

GaAs/Si ナノワイヤー結晶のひずみ緩和機構の研究 Strain relaxation of GaAs nanowire crystals on Si wafer

水野 薫, 岡本博之¹

Kaoru Mizuno, Hiroyuki Okamoto¹

島根大学総合理工学部, 金沢大学医薬保健領域¹

Faculty of Science and Engineering, Shimane University

School of Medicine, Kanazawa University¹

1. 概要

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ャル半導体薄膜の界面における歪み緩和機構を X 線トポグラフィで調べた。不整合転位の発生する臨界膜厚(4nm)よりも GaAs 膜(約 1 μ m)は厚いにもかかわらず、転位線は写っていなかった。しかし、拡大した写真にナノワイヤー結晶が基板から成長している場所が写っていた。さらに逆格子マップの測定結果は薄膜の垂直方向の格子定数が増えていることを示していた。すなわち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と考えられる。

(English)

Strain relaxation mechanism in GaAs/Si hetero-epitaxial thin film grown from nano-wire crystals was investigated by X-ray topography and measurement of reciprocal map. Although the thickness of thin film (~1 μ m) exceeds the critical thickness of generation of misfit-dislocations (4nm), we could not observe the misfit-dislocations in the specimen. The reciprocal map showed vertical expansion of lattice constant in the thin film. Therefore, elastic strain relaxation was occurred at the growth place of nano-wire on the Si wafer.

2. 背景と研究目的:

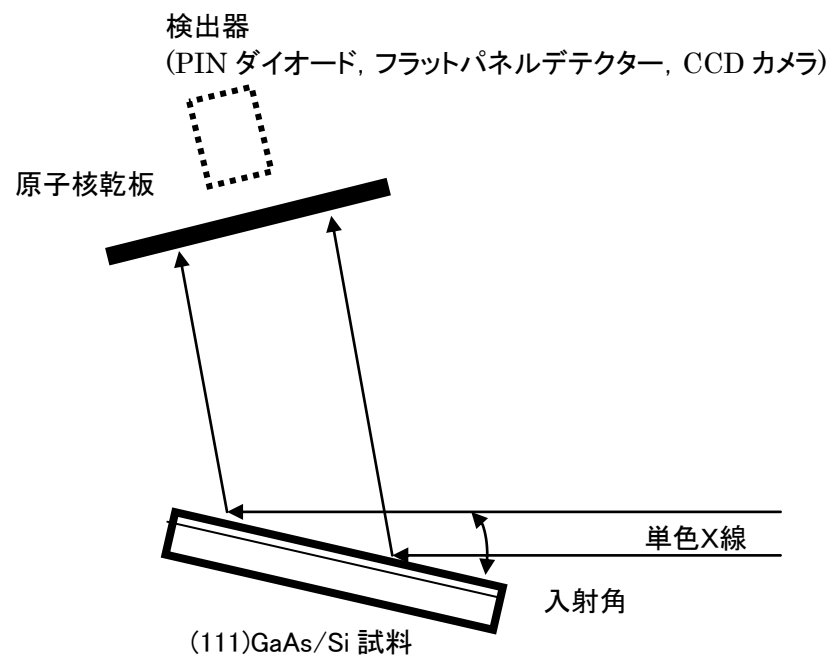
ヘテロエピタキシャル半導体薄膜は基板と薄膜の物質が異なるにも関わらず、同じ方位を有する。そのため、格子定数の違いによる歪みの発生が避けられない。膜厚が薄い場合は弾性的な変形により、歪みの緩和が行われるが、ある厚さを越えると塑性変形を起こして緩和する。その時に導入される転位が不整合転位であり、はじめて不整合転位の発生する厚さが臨界膜厚とよばれている。この転位はデバイスの性能を悪化させたり寿命を短くすることが知られている。そのため、バッファ層を基板と薄膜の間に挟むなど、不整合転位を発生させない工夫が試みられている。他の方法として基板上に針状のナノ結晶を基板上に多数成長させたのち、成長温度を変化させ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、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を観察する。さらに観察された格子欠陥の同定を行うため、異なる

回折面によるトポグラフを撮影する。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ことを目的とする。

3. 実験内容 (試料、実験方法の説明)

- ① 無転位 Si (111) 基板の上に 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。この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。
- ② 下図のように (111)GaAs/Si 試料、検出器を配置し、(044)を回折面として波長 9.990 keV 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。その後、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。この場合 X 線と試料表面のなす角 (入射角) は約 6° なので、X 線は数百 μm まで侵入している。なお、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 次に同じ条件で PIN ダイオードを用いて、逆格子マップの測定を行った。測定に際して、試料とモノクロメーターの間に設置したスリットによりビームの上下幅を $50\mu\text{m}$ まで絞った。この測定は KEK-PF の精密回折実験ステーション (BL-15C) で実施した。

4. 実験結果と考察

図1に9.990 keVの単色X線を用いて(440)を回折面として測定したロックンクを示す。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。試料が反っているため、回折角をわずかにずらして4または5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、同じエネルギーで薄膜(GaAs)の回折ピークで撮影したトポグラフを図3に示す。これらの写真に局所的に回折条件を満たさず、白く抜けている微少領域は観察されない。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。図2, 3に示す写真には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 μ 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は基板から生えているナノワイヤー結晶の基部である可能性がある。

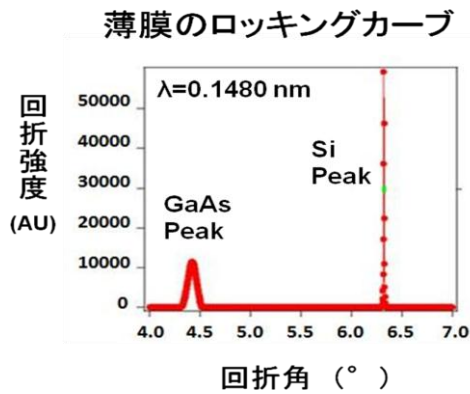


図1

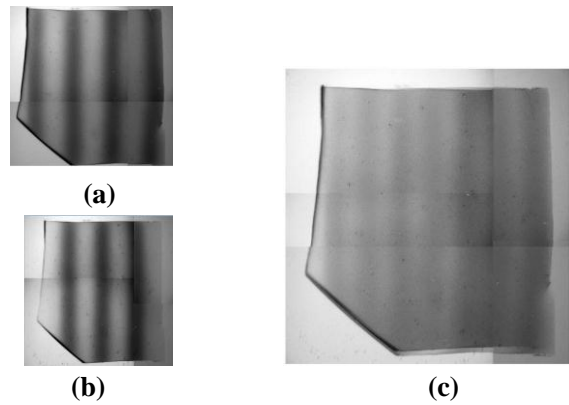


図2

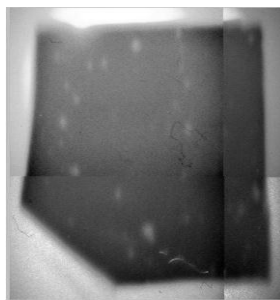


図3

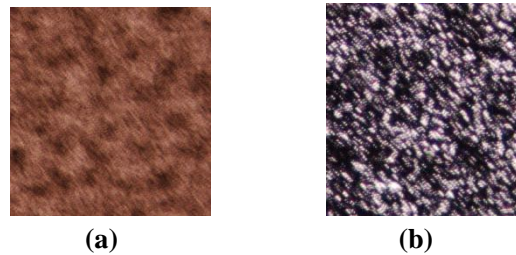


図4

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の回折ピークで、5(b)はGaAsの回折ピークで測定した結果である。逆格子マップの測定は ω および 2θ 軸を回転して測定するため、結果は通常 ω と 2θ 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_n で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。

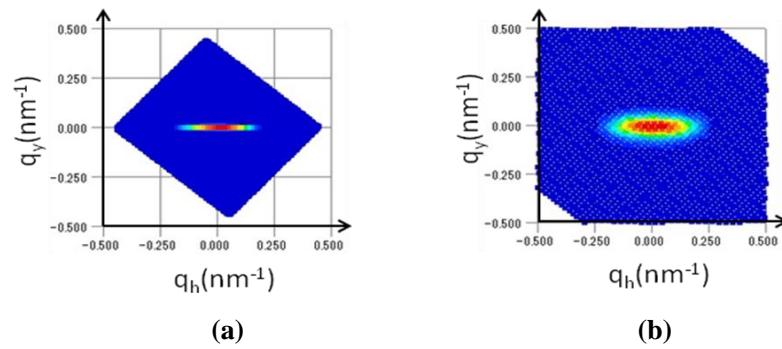


図 5

5. 今後の課題：

現在撮影した回折面は(440)面だけである。そのため、転位のバーガスベクトルと回折ベクトルの位置関係によっては転位像が消える場合もある。そこで、他の{440}系の回折面でトポグラフを撮影して、間違えなく転位は存在していないことを確かめる必要がある。さらに微少角入射条件でトポグラフを撮影して、薄膜内に他の格子欠陥が存在していないことを確認する必要がある。また、他の方位を有する試料でもこの緩和機構が働いているか否かを確認する必要がある。

6. 論文発表状況・特許状況

なし

7. 参考文献

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

8. キーワード（試料及び実験方法を特定する用語を 2～3）

- ・ヘテロエピタキシャル半導体薄膜

半導体基板の方位を引き継いで異なる半導体で成長させた薄膜のこと。格子定数が基板と薄膜で異なるため、界面には必ず歪みが存在する。

- ・X線トポグラフィ

格子欠陥等による回折強度の差をそのまま結晶外に取り出し画像化するイメージング法。平行性の非常に高い放射光X線を用いると個々の回折スポットがそのままトポグラフになっている。