

平成 22 年 6 月 2 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760209

研究課題名 (和文) パルススパッタ堆積法による単結晶薄膜で形成された FBAR の作製

研究課題名 (英文) Fabrication of single crystalline FBAR by the use of pulsed sputtering deposition

研究代表者

井上 茂 (INOUE SHIGERU)

東京大学・生産技術研究所・特任助教

研究者番号：10470113

研究成果の概要 (和文)：高周波数帯域で高い性能を示す周波数フィルタである FBAR の高品質化を実現する方法として、単結晶薄膜の利用が考えられる。本研究ではスループットの高い結晶成長手法であるパルススパッタ堆積法を用いて Si 基板上へ AlN の成長を行った。Si 基板上へ直接 AlN を成長するとクラックが導入される。そこで、超格子を用いることでクラックを抑制して単結晶 AlN 薄膜の成長を実現し、高品質 FBAR に必要な結晶成長手法を確立した。

研究成果の概要 (英文)：The use of single crystalline films for FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator) enhance the performance. In this study, AlN were grown on Si substrates by the use of pulsed sputtering deposition techniques with high-throughput. Cracks are introduced to AlN films in the case of direct growth on Si substrates. Superlattice layers enable us to obtain single crystalline AlN films without any cracks on Si substrates.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合 計
2008 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総 計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：半導体薄膜

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子・電気材料工学

キーワード：結晶成長、FBAR

1. 研究開始当初の背景

携帯電話や無線 LAN に代表される無線通信分野では、ブロードバンド化や高周波化が進み、これまで以上の高周波領域で使用可能なフィルタが求められている。これまで SAW(Surface Acoustic Wave)フィルタが広く利用されていたが、2 GHz 以上の高周波数帯域では FBAR(Film Bulk Acoustic

Resonator)フィルタの利用が必須になる。しかしながら、結晶品質の悪い c 軸配向性多結晶 AlN 薄膜を圧電層として利用しているため、高 Q 値実現の妨げとなっているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究ではパルススパッタ堆積法(PSD 法)

を用いて、これまで達成できていなかった高品質単結晶薄膜で形成された FBAR の作製を目指す。スルーブットの高いスパッタ法の利点を活かすため、成長基板には高品質で大面積基板が安価に得られる Si を採用する。また、圧電材料は高音速、良好な周波数温度係数、高い電気機械結合係数を持つ AlN を使用し、電極材料には高ヤング率、高密度、低抵抗、表面平坦化が容易などの特徴を有する Mo および Ru を用いる。これらの材料を Si 基板上にエピタキシャル成長させた場合にはクラックの発生が想定されるため、超格子導入などの手法を取り入れてクラックフリーの単結晶薄膜で形成された FBAR 構造作製を達成する。

3. 研究の方法

今回、単結晶薄膜化を実現するために AlN 中間層の導入を考案した。ところが、Si (111) 基板上の AlN には引張り応力が働くため、クラックが発生する可能性がある。その場合には、クラック抑制技術を検討する必要がある。クラック抑制技術としては、中間層の多層膜化が挙げられる。MOCVD 法では GaN/AlN の多層膜を利用することでクラックが抑制されると報告されている。この手法を PSD 法にも適用することで、クラックの抑制を図る。しかしながら、PSD 法における GaN 成長と AlN 成長では Ar/N₂ 流量・混合比の条件が異なることが想定される。多層膜成長におけるスルーブット向上には同一 Ar/N₂ 流量・混合比での GaN および AlN 成長を実現する必要があり、広範な条件探索を実施していく。

4. 研究成果

パルススパッタ堆積 (PSD) 法を用いて Si (111) 基板上および Si (110) 基板上に AlN の成長を行ったところ、いずれも AlN (0001) 面のシャープな反射高速電子回折 (RHEED) 像が得られ、エピタキシャル成長が確認された。Si (110) 基板と AlN (0001) 薄膜の電子後方散乱回折 (EBSD) 測定結果から、面内配向関係は AlN [10-10] // Si [001] であり、AlN バッファ層と Si [001] 方向の格子不整が 0.7% と小さくなる配向が実現されていることが分かった。また、AlN <10-12> EBSD 極点図が明瞭な 6 回回転対称性を持つことから、30 度回転ドメインの無い良質な AlN 結晶が成長していることが確かめられた。

Si (111) 基板上に成長した AlN 薄膜には引張り応力に起因してクラックの発生が確認された。そこでクラック抑制のために AlN/GaN 超格子構造の導入を検討した。AlN/GaN 超格子を 10 ペア挿入したところ、クラックは抑制されることが分かった。一方、Si (110) 上に関しては、格子不整が小さいことに起因して、超格子バッファのあるなし

に関わらずクラックの発生はなかった。

この超格子バッファ上に成長した GaN の評価を X 線回折により行ったところ、超格子に起因する明瞭なサテライトピークが確認され、作製した超格子構造は急峻な界面を有することが確かめられた。また、GaN0002 および GaN10-12 回折のロッキングカーブ半値幅はそれぞれ 0.39°、0.52° であり、良好な結晶性を有する薄膜が成長していることが分かった。

また、パルススパッタ堆積 (PSD) 法を用いて (100), (111), (110) の面方位を有する各 Mo 基板上へ HfN バリア層の成長を行った。Mo (100) 基板上へ HfN の成長を行った結果、HfN (100) のエピタキシャル成長した。一方、Mo (111) 基板上へ HfN の成長を行った場合には、120° 回転した 3 つの等価なドメインが、HfN <100> 軸を Mo (111) 面から 20° 傾けて成長していることが分かった。Mo (111) の原子密度が低いことから表面エネルギーが高くなり不安定な面であることに起因していると考えられる。続いて、Mo (110) 基板上へ HfN を成長した場合には、HfN (111) がエピタキシャル成長した。ウルツ鉱構造である AlN や GaN の (0001) 面を成長するには、対称性の観点から HfN (111)/Mo (110) が適している。実際、700°C において GaN の成長を行ったところ、GaN (0001) のエピタキシャル成長を実現した。このとき、GaN 表面への Hf や Mo の拡散は見られなかったことから、HfN が拡散バリア層として機能していることが分かった。

以上の結果から、パルススパッタ堆積法により Si 基板上にクラックフリー AlN の成長を実現し、単結晶で構成された FBAR を作製する基本的な手法を確立した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- ① 岡本浩一郎, 井上茂, 中野貴之, 太田実雄, 藤岡洋, Epitaxial growth of GaN on single-crystal Mo substrates using HfN buffer layers, Journal of Crystal Growth, 査読有、311 巻、2009 年、1311-1315

〔学会発表〕(計 2 件)

- ① 岡野雄幸, 井上茂, 上野耕平, 小林篤, 太田実雄, 藤岡洋, 尾嶋正治, Rh (111) 基板上へエピタキシャル成長した AlGaN の面内配向関係, 第 39 回結晶成長国内会議, 2009 年 11 月 13 日、名古屋大学
- ② 宋顕成, 井上茂, 太田実雄, 藤岡洋, 伊勢村雅士, GaN/HfN/Si (110) ヘテロ構造の

作製と界面の評価、第 56 回応用物理学関係連合講演会、2009 年 3 月 30 日、筑波大学

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井上 茂（INOUE SHIGERU）

東京大学・生産技術研究所・特任助教

研究者番号：10470113