

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：58001

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420299

研究課題名(和文) 高圧電性ScAlN薄膜を有するダイヤモンドSAWの研究

研究課題名(英文) Study on diamond SAW with high piezoelectric ScAlN thin film

研究代表者

藤井 知 (Fujii, Satoshi)

沖縄工業高等専門学校・情報通信システム工学科・教授

研究者番号：30598933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：RFマグネトロンスパッタリング装置を用い、Sc0.32at%Al68at%合金とSc0.43at%Al57at%合金のターゲットを用い、シリコン上に六方晶C軸配向性を持ったScAlN薄膜の形成に成功した。特に、Sc0.43at%Al57at%合金では、ターゲット中のSc濃度が高くなるに従い、C軸配向性が失われやすい。TEMで詳細に観察したところ、結晶成長初期にはSc濃度が高くなり、アモルファス層が形成されやすいことが分かった。また、シリコンウエハ上にSAW共振子を試作したところ、2GHzにて2.7%のK2を持つことが示され、この値はAlN薄膜に比べ、6倍も大きいものである。

研究成果の概要(英文)：ScAlN thin films were deposited by a conventional radiofrequency (RF) -magnetron sputtering system using two Sc-Al alloy metal targets with different Sc/Al ratios. A 10 h deposition time resulted in highly c-axis-oriented ScAlN thin films with Sc concentrations of 32 at % and 22 at % on Sc0.43-Al0.57 and Sc0.32-Al0.68 targets, respectively. C-axis orientation was lost in thin films deposited on the Sc0.43-Al0.57 target after sputtering times of over 50 h. XDS analysis showed a high-Sc-content ScAlN film with an amorphous phase layer near the Si substrate surface. A seed layer of c-axis-oriented ScAlN allowed for > 50 h deposition on the Sc0.43-Al0.57 target to result in highly c-axis-oriented ScAlN films. A one-port surface acoustic wave (SAW) resonator based on the ScAlN/Si structure has a K2 value of 2.7% at 2 GHz, six times larger than for that based on the AlN/Si structure.

研究分野：電子部品

キーワード：弾性表面波 圧電薄膜 ダイヤモンド マイクロ波工学

1. 研究開始当初の背景

最先端通信システムにおいて、時間(もしくは周波数)の発生・制御を司るフィルタ並びにクロック源は、その性能が信号の伝送速度、伝送距離や高速 AD/DA 変換の精度を決定する。このため、年々その重要性を増しており、より一層の性能向上が渴望されている。これらの用途には、弾性表面波(SAW)やバルク弾性波(BAW)を用いた高周波(RF)弾性波素子が多用されている。その理由は、これらの素子が小型で温度特性が良好で、フィルタやクロック源の性能を支配する共振子の Q 値が大きいことである。そのため、第 4 世代までの携帯電話では数多くの弾性波素子が用いられて来た。今後、さらなるスマートフォンの普及により 10 年後には 1000 倍を超える通信速度の要求があると予想されており、キャリア周波数はより高周波になると想定される。SHF 帯において、BAW 素子は AlN 薄膜の圧電係数が小さいため必要な帯域幅が得られない。一方、SAW 素子の場合、主流となっている LiNbO₃ や LiTaO₃ など基板は低音速なため、0.1~0.2μm 線幅の櫛歯電極の露光を達成しなければならない。本問題の根本解決には、弾性波素子の新規材料・プロセス技術の開拓が必須である。以上の理由から、研究代表者らは、ダイヤモンドを用いた SAW 素子について研究を進めている。ダイヤモンド自体は圧電性を持たないため、圧電薄膜との組み合わせが必須である。近年、産総研秋山らにより、Sc 濃度が 43%において、その圧電係数 d_{33} は AlN の 5 倍の最大となることが示され、研究代表者らのグループは、Sc_xAl_{1-x}N(x=43%)/ダイヤモンド構造の SAW フィルタを試作し、その電気機械結合係数が 6%となることを示した。そこで、結晶成長方法と、Sc_xAl_{1-x}N 薄膜における Sc 濃度と結晶構造や圧電係数等の物性値の関係を解明し、次世代無線通信システムの構築に貢献する。

2. 研究の目的

電気機械結合係数値 6%を上回る Sc_xAl_{1-x}N (x>43%) 薄膜の新しい結晶成長方法、Sc 濃度と物性値や、結晶構造の明確化 Sc_xAl_{1-x}N(x>43%)/単結晶ダイヤモンド SAW デバイスの試作と評価、を目的とする。

3. 研究の方法

4 インチの Sc_{0.43}-Al_{0.57} と Sc_{0.32}-Al_{0.68} の合金ターゲットを 2 つ準備し、RF マグネトロンスパッタリング装置(Anelva SPC350-UHV)に装着し、Fz-Si (100) の基板に、反応性スパッタリング法により、Sc_xAl_{1-x}N 薄膜を形成した。また、自作した 2 元スパッタリング装置を用い、同様に Fz-Si 基板に Sc_xAl_{1-x}N 薄膜を形成した。FIB 加工と断面 TEM 観察等による薄膜評価と 1 ポート SAW フィルタを作製し、そのデバイスの評価を行った。また、ダイヤモンドは 3×3mm² サイズの小片基板を用い、デバイスを作製する。

4. 研究成果

図 1 には、Sc_{0.32}-Al_{0.68} 合金ターゲットを用いたときの積算スパッタ時間と Sc 濃度、積算スパッタ時間と配向性について示す。数時間の積算スパッタリング時間を経過後、Sc 濃度及び Sc_xAl_{1-x}N 薄膜の配向性が安定することが分かる。また、窒素流量を絞り薄膜を形成した実験結果から、合金の Sc 濃度がそのまま Sc_xAl_{1-x}N 薄膜に転写されないのは窒素による反応性スパッタリングの影響と分かった。図 2 には、同様に、Sc_{0.43}-Al_{0.57} 合金ターゲットを用いたときの積算スパッタ時間と Sc 濃度、積算スパッタ時間と配向性について示す。同様に、数時間の積算スパッタリング時間を経過後、Sc 濃度及び Sc_xAl_{1-x}N 薄膜の配向性が安定する。ただし、合金の Sc 濃度が上がるに従い、C 軸配向性は不安定となる。この原因は、やはり、Sc 濃度が向上するに従い、結晶小僧としては立方晶系の方が安定するから

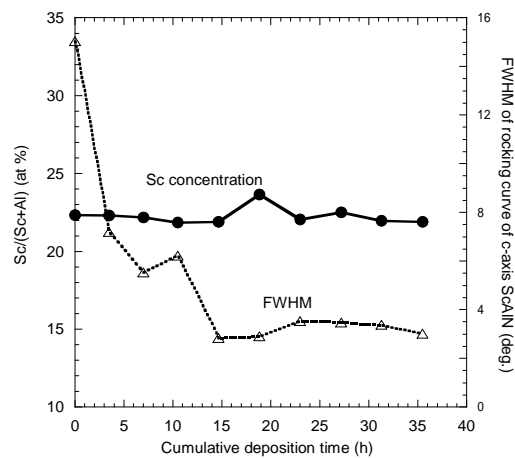


図 1. Sc_{0.32}-Al_{0.68} 合金ターゲットを用いたときの積算スパッタリング時間と Sc 濃度、積算スパッタリング時間と Sc_xAl_{1-x}N 薄膜の C 軸配向性

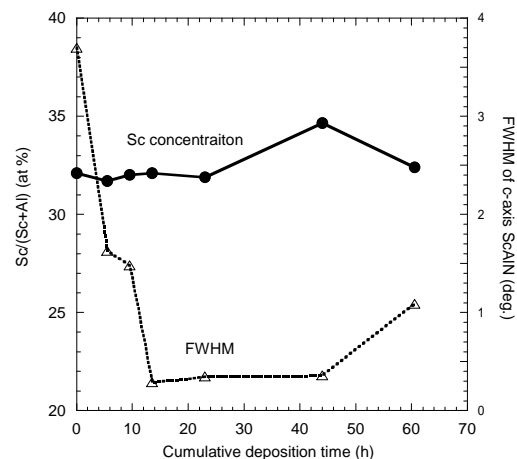
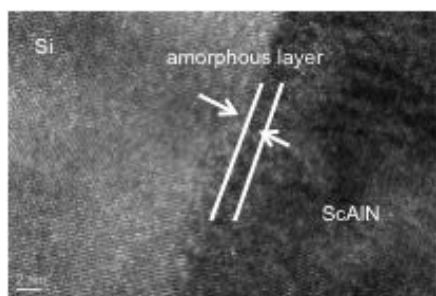


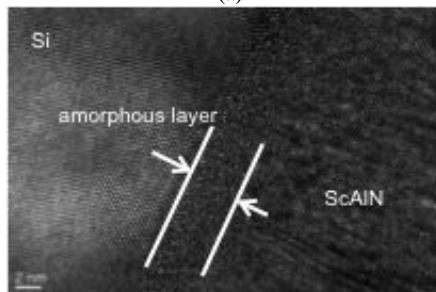
図 2. Sc_{0.43}-Al_{0.57} 合金ターゲットを用いたときの積算スパッタリング時間と Sc 濃度、積算スパッタリング時間と Sc_xAl_{1-x}N 薄膜の C 軸配向性

だと推測される。

配向性の不安定な状況を確認するために、 $\text{Sc}_{0.43}\text{-Al}_{0.57}$ 合金ターゲットを用い、4 4 時間後と 7 7 時間後の断面 TEM 観察を行った。その図 3 結果を示す。ターゲットの使用時間が長くなるにつれ、Si 海面付近の $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ のアモルファス層が大きく、また、Sc 濃度が高いことが分かった。成長初期の $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ 薄膜形成をコントロールすることにより、 $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ 薄膜の良好な六方晶系 c 軸配向性を安定的に得られることが分かった。シリコンを基板として SAW フィルタを作成したところ、図 4 に示すような良好な共振特性が得られた。



(a)



(b)

図 3 . $\text{Sc}_{0.43}\text{-Al}_{0.57}$ 合金ターゲットを用いたときの積算スパッタリング 44h と 77h の ScAlN と Si 界面の TEM による観察結果

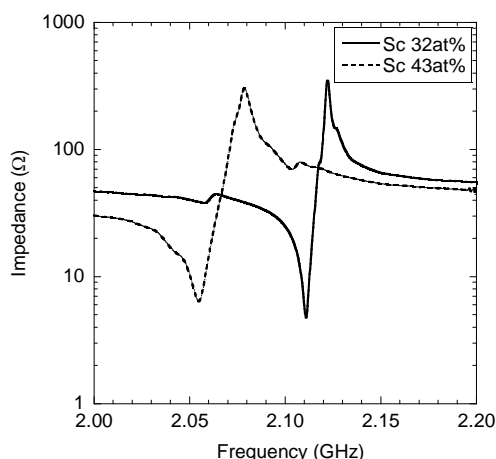


図 4 . $\text{Sc}_{0.32}\text{-Al}_{0.68}$ 合金ターゲットと $\text{Sc}_{0.43}\text{-Al}_{0.57}$ 合金ターゲットを用い SAW 共振子を試作し、そのインピーダンス特性

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 4 件)

1. S. Fujii, H. Kujirai, D. Mochizuki, M. Maitani, E. Suzuki, Y. Wada, and N. Mayama: "Methanol Decomposition Reaction using Pd/C as Solid Catalyst under Highly Precise Microwave Irradiation", Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, vol.48, pp. 89-103, 2014
2. M. Sumisaka, K. Yamazaki, S. Fujii, G. Tang, T. Han, Y. Suzuki, S. Otomo, T. Omori, and K. Hashimoto: "Sputter Deposition of ScAlN Thin Films Using a Sc-Al Alloy Target," Japanese Journal of Applied Physics, 54, pp. 07HD06-1~04, 2015
3. S. Fujii, S. Kawamura, D. Mochizuki, M. M. Maitani, E. Suzuki, and Y. Wada: "Microwave sintering of Ag-nanoparticle thin films on a polyimide substrate," AIP Advances 5, 127226-1~11, 2015
4. S. Fujii, M. M. Maitani, E. Suzuki, S. Chonan, M. Fukui, and Y. Wada: "Injection-Locked Magnetron Using a Cross Domain Analyzer," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, open access, DOI:10.1109/LMWC.2016.2615030, 2016

[学会発表](計 7 件)

1. S. Fujii, S. Shimizu, M. Sumisaka, Y. Suzuki, S. Otomo, T. Omori, K. Hashimoto: "Deposition of highly c-axis-oriented ScAlN thin films by RF magnetron sputtering using a Sc-Al alloy target," IEEE International Frequency Control Symposium, pp. 350-353, 2014
2. M. Sumisaka, S. Fujii, G. Tang, Y. Suzuki, S. Otomo, T. Omori, and K. Hashimoto: "Sputter Deposition of ScAlN Thin Films Using a Sc-Al Alloy Target," The 35th Symposium on UltraSonic Electronics(USE2014)
3. S. Fujii, M. Sumisaka, G. Tang, Y. Suzuki, S. Otomo, T. Omori, and K. Hashimoto: "Deposition of highly c-axis-oriented ScAlN thin films by RF magnetron sputtering using a Sc-Al alloy target," IEEE Microwave Conf. 2015, (IMS2015), Tech. Digest, TH3D-2-1~4, Phoenix, USA
4. S. Fujii, M. Sumisaka, Y. Okada, N. Hasuike, K. Kisoda, H. Harima, T. Omori, and K. Hashimoto: "Deposition of ScAlN thin film using dual-sputtering method," The 36th Symposium on UltraSonic Electronics(USE2015), Tsukuba, Japan
5. S. Fujii, H. Kadena, and K. Hashimoto, "Deposition of ScAlN Thin Film Using

RF-Sputtering Method," The 3rd International Conference of Global Network for Innovative Technology, 1-4, 2016

6. S. Fujii, M. M. Maitani, E. Suzuki, S. Chonan, M. Fukui, and Y. Wada: "Study on an Injection-Locked Magnetron," IMPI'S 50th Annual Microwave Power Symposium, pp. 108-110, 2016, Florida, USA.

7. S. Fujii, S. Tsubaki, E. Suzuki, S. Chonan, M. Fukui, and Y. Wada: "Study on Metal Refining Process of Sc metal using Microwave Irradiation," Progress In Electromagnetics Research Symposium, 2016, Shanghai, China

〔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〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

藤井 知 (FUJII SATOSHI)

沖縄工業高等専門学校・情報通信システム工
学科・教授 研究者番号：30598933

(2)連携研究者

千葉大学 工学研究科・教授

橋本 研也 (HASHIMOTO KENYA)

研究者番号：90134353

(3)連携研究者

千葉大学 工学研究科・助教

大森 達也 (OMORI TATSUYA)

研究者番号：60302527