

課題番号 : F-13-AT-0100
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名 (日本語) : ダイヤモンド SAW の研究
 Program Title (English) : Study on diamond SAW devices
 Program Title (English) : 藤井 知
 Username (English) : S. Fujii
 所属名 (日本語) : 千葉大学 産学連携知的財産機構
 Affiliation (English) : Organization for Academic-Industrial Collaboration and Intellectual Property, Chiba University

1. 概要 (Summary)

利用者を含む我々の研究グループでは、単結晶ダイヤモンドを用いた弾性表面波素子 (SAW) の研究開発を行い、5GHz にて Q 値が 8000 以上、 $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ ($x=43\%$) 薄膜を用いたものでは 3GHz 帯にて電気機械結合係数値 (K^2) が 6% を持つことを示した。しかし、次世代無線通信では RF フィルタとして、さらに、大きい高圧電性が要求されている。そのため、我々の研究グループでは、2 元スパッタ装置及び合金スパッタ装置の成長方法の最適化を実施し、高圧電性を持った $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ 薄膜形成の研究を行っている。これまでの研究結果、 $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}$ ($x=43\%$) の合金ターゲットを使い、RF マグネトロン反応性スパッタリング法により、Si(100)面のウエハ上に良好な c 軸配向性を持つ $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ ($x=32\%$) 薄膜を形成出来ることを確認した。また、 $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ ($x=32\%$)/Si 構造を用いた SAW デバイスを試作したところ、AIN 薄膜を用いた場合に比較し、2 GHz の高周波にて約 4 倍の K^2 1.7% が得られた。今後、さらなる Sc 濃度の増加と、ダイヤモンド基板上に $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ 薄膜形成と、それを用いた SAW デバイスを試作し、その評価を行う予定である。

2. 実験 (Experimental)

4 インチサイズの焼結法により $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}$ ($x=43\%$) 合金ターゲットを作製した。このターゲットを用い、千葉大学所有の RF マグネトロン反応性スパッタ装置に装着し、FZ-Si ウエハ上に約 1.6 μm 前後の薄膜を形成した。その後、産総研 NPF 所有の日立ハイテクサイエンス製の蛍光 X 装置 SEA5120A (XRF)、とりガク製の X 線回折装置 Ultima-III (XRD)、千葉大学所有の AFM を用い、薄膜の評価を行った。さらに、千葉大学所有の電子ビームリソグラフィと蒸着装置を用い、銅電極を形成し、1 ポート SAW フィルタを作製し、その評価を行った。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

Fig.1 に、積算デポ時間と XRF により分析した薄膜中の Sc 濃度と XRD により分析した $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ 薄膜の c 軸配向性について示す。合金ターゲットであることから、最初の 10 時間未満は配向性も悪かったものの、10 時間以降は良好な c 軸配向性が得られ、なおかつ Sc 濃度も 32at% が安定的に得られた。その後、積算時間が 45 時間にて Sc 濃度が 35at% と高くなり、配向性も良い結果となった。しかしながら、積算デポ時間が 45 時間以降については、配向性が悪くなった。これについてはターゲット表面の Sc 濃度が増え、 $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ 薄膜配向がしづらくなつたと考えている。

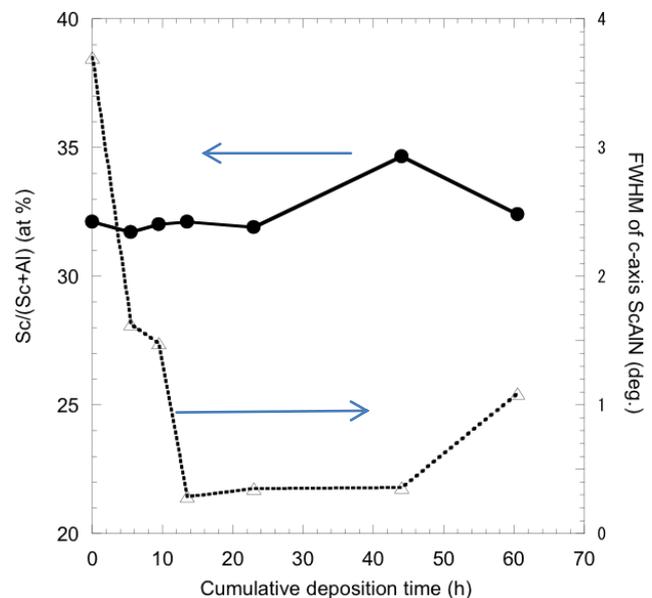


Fig.1 Sc concentration of the deposited films as a function of cumulative deposition time determined using XRF spectrometry. Also shown are the FWHM values of the θ -2 θ XRD curves of the c -axis ScAlN thin films.

また、ターゲットについても XRF により濃度分析をおこなったところ、既に積算時間が 30 時間以降では Sc 濃度は 50at% であった。ただし、XRF は極表面を分析するも

のではなく、AlとSc原子のスパッタレートの違いから極表面ではSc濃度が大きいと予想される。積算時間30時間に形成した $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ 薄膜上に、銅電極を形成し、波長 $2.7\mu\text{m}/80$ 対IDT/40対反射器を持つ1ポートSAWデバイスの設計・作製を行った。その共振子特性をネットワークアナライザによって評価を行い、その結果をFig.2に示す。共振子特性の分析結果から、周波数2.1GHzにて、 K^2 1.7%、共振 Q 363、反共振 Q 161の特性を持つことが示された。また、中心周波数から求めた位相速度は5529m/sとなり、Sc濃度43%としたときの $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}/\text{Si}$ の理論値(5520m/s)とほぼ同じ値が得られた。しかしながら、 K^2 については理論値の2.7%より小さいものとなってしまった。これは今回試作に用いたScAlN薄膜のSc濃度が32%であり圧電性が低いことに起因する。しかしながら、AlN/Siの理論値で得られる K^2 に比べ約4倍も大きいことが分かった。

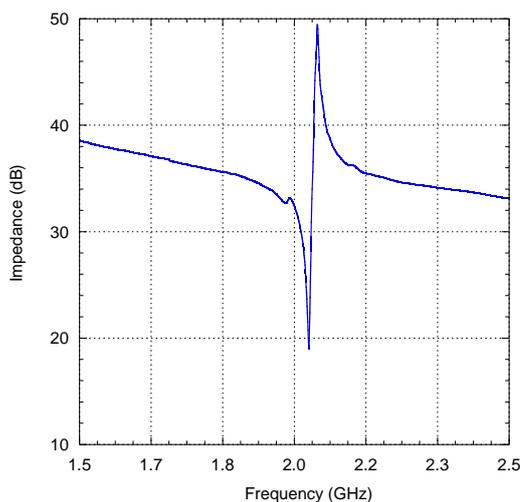


Fig.2 Impedance characteristics of the one-port SAW

resonator fabricated on ScAlN/Si structure.

以上、まとめると、当初の研究の目標に比べ、十分な圧電性は得られていないものの、非常に簡便なRFマグネロン反応性スパッタリング法で容易にc軸配向性を持つ $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ 薄膜が形成出来ることを示し、AlN/Siに比べ比較的大きな K^2 が得られることを示した。Si上に形成出来たところから、様々な通信システムに用いられている弾性波フィルタの要望に答えることが出来、また、 $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ 薄膜がRF-MEMS分野における圧電材材料となることを示した。引続き、再現性も含め、Sc濃度が大きい $\text{Sc}_x\text{Al}_{1-x}\text{N}$ 薄膜の形成方法について研究を進め、ダイヤモンド上にデバイスを形成し、その特性を評価する予定である。

4. その他・特記事項 (Others)

共同研究者である千葉大学橋本研也教授と大森達也助教、産総研ユビキタスエネルギー研究部門鹿田真一博士と梅沢仁博士に感謝申し上げます。また、XRF及びXRDについて適切なアドバイスを頂いた産総研NPFに感謝申し上げます。また、本研究はJSPS科研費23560387の助成を受けたものです。

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

- (1) S. Fujii, T. Odawara, H. Yamada, T. Omori, K. Hashimoto, H. Torii, H. Umezawa, and S. Shikata, "Low propagation loss in a one-port SAW resonator fabricated on single-crystal diamond for super high frequency applications", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol.60, pp.986-992, 2013
- (2) S. Fujii, H. Yamada, T. Omori, K. Hashimoto, H. Torii, H. Umezawa and S. Shikata, "One-port SAW Resonators Fabricated on Single-Crystal Diamond", IEEE International Microwave Symposium, TU1D-6-1~3, 2013
- (3) 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 Sc-Al alloy target", 2014 IEEE International Frequency Control Symposium to be accepted.

6. 関連特許 (Patent)

なし。