

非鉛系強誘電体厚膜の電子デバイスへの応用

電子技術課 坂井雄一 中央研究所 角田龍則 二口友昭

1. 緒言

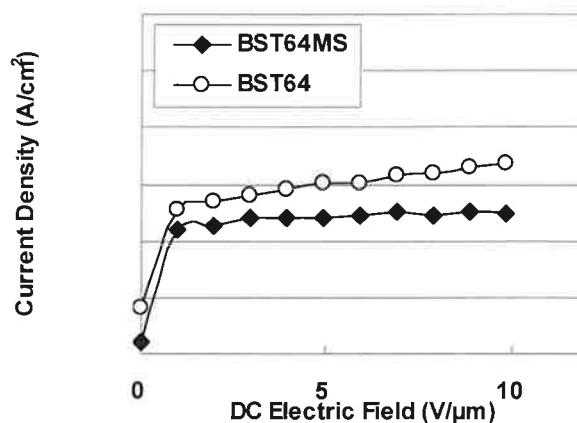
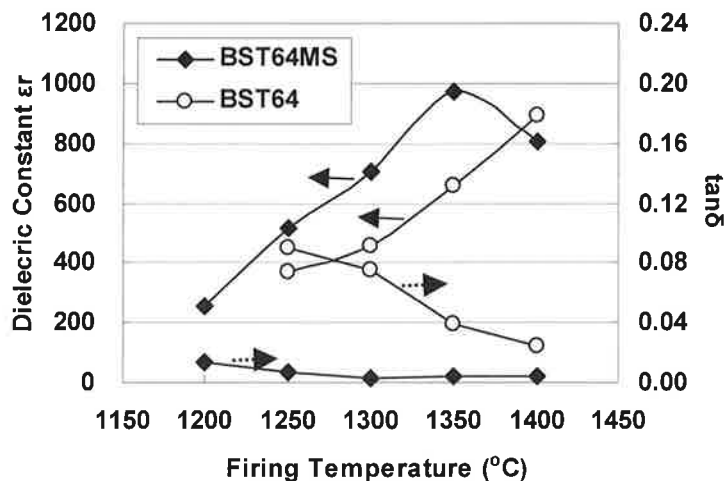
強誘電体材料は、セラミックコンデンサ、アクチュエータなど電子デバイス材料として広く利用されている。なかでもチタン酸バリウム系材料の歴史は古いが、近年、非鉛系強誘電体として再び注目されている。なかでもチタン酸バリウムのバリウムを一部ストロンチウムで置換した材料である(Ba,Sr)TiO₃は、DCバイアスの印加により比誘電率が変化することからチューナブルキャパシタ材料として注目されている。また、インクジェット技術はプリンター出力装置としてなじみが深い非接触印刷、マスクレス印刷などのメリットから産業への応用が期待されている。今回、インクジェット法を用い、非鉛系強誘電体材料である(Ba,Sr)TiO₃厚膜を作製し、(Ba,Sr)TiO₃へのMgTiO₃、SiO₂添加による電気特性向上について検討を行った。さらに、インクジェット法で作製した(Ba,Sr)TiO₃厚膜のチューナブルデバイスへの応用について検討した。

2. 実験方法

インクジェット用のインク溶媒は、水、エチレングリコール、ポリエチレングリコール、アルコール、分散剤を混合したものを用いた。粒径が数百nm以下のBaTiO₃、SrTiO₃、MgTiO₃、SiO₂粉末をそれぞれ(Ba_{0.6}Sr_{0.4})TiO₃(以降、BST64)および0.995(Ba_{0.6}Sr_{0.4})TiO₃-0.005MgTiO₃にSiO₂を0.5wt%加えた組成(以降、BST64MS)となるように秤量し、溶媒と混合したインクをそれぞれ作製した。基板は、Pt下部電極を形成したジルコニア基板を用いた。インクジェット印刷時のパターンニング性を向上させるため、この基板にスピンコートと熱処理によって樹脂層を形成後、酸素プラズマ処理を行った。この基板に、インクジェット印刷によりパターン形成後に焼成を行った。上部電極は金属ペーストをスクリーン印刷後に乾燥、焼成することで形成した。電気特性測定には、インピーダンスアナライザ、ネットワークアナライザを用いた。

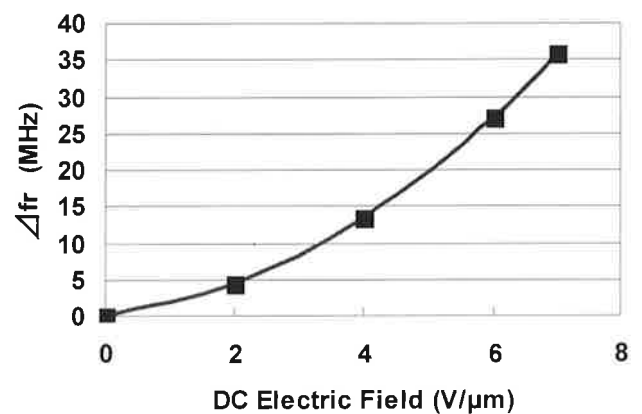
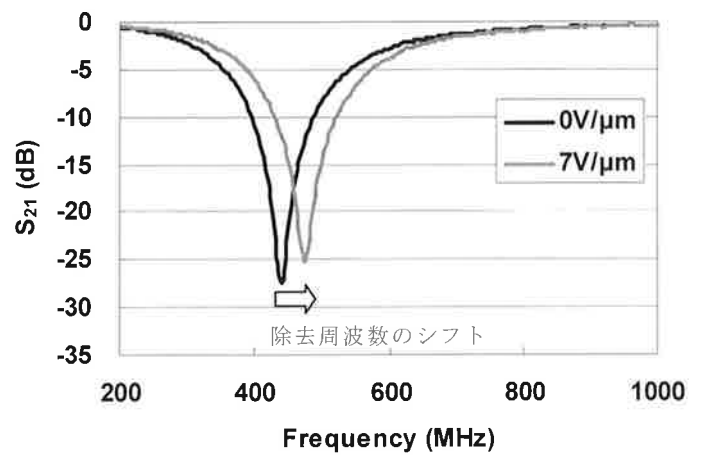
3. 結果及び考察

図1にBST64、BST64MSそれぞれについての比誘電率 ϵ_r 、 $\tan\delta$ の焼成温度依存性を示す。比誘電率が大きく、 $\tan\delta$ が小さいものほど良好な電気特性であるが、BST64MSはBSTと比べて低い焼成温度で比誘電率が最大値を示し、SEM観察によってもBSTと比べて低い温度で緻密な膜が形成されることが確認された。これはSiO₂添加による焼結温度の低下によるものと考えられる。また、BST64MSはBST64と比べて $\tan\delta$ が小さくなった。ここでは示さないがMgTiO₃の添加とともに $\tan\delta$ が減少したこと



から、 MgTiO_3 添加が $\tan\delta$ の低下に寄与しているものと考えられた。(Ba,Sr) TiO_3 系材料において、比誘電率を変化させるために、材料にDCバイアスを印加するが、このときのリーク電流ができるだけ小さいことが望ましい。図2にリーク電流特性を示す。BST64MSは、無添加のものに比べリーク電流が小さく良好な特性を示した。BST64及びBST64MSについて $10\text{V}/\mu\text{m}$ の電界を印加した際の体積抵抗率を計算すると、それぞれ、 $4.7\times 10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$ 、 $3.3\times 10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$ であった。

さらに、(Ba,Sr) TiO_3 系材料を利用したデバイスとして、特定の周波数の信号だけを除去できるチューナブルバンドエリミネーションフィルタを試作した。特性インピーダンス 50Ω のマイクロストリップラインからグランドに市販のチップインダクタと作製したBST厚膜を直列につなぎ、ネットワークアナライザによる S_{21} の測定を行った。DCバイアス印加なし及びDCバイアス $7\text{V}/\mu\text{m}$ 印加時の S_{21} パラメーターの周波数依存性を図3に示す。DCバイアスを無印加の時は 442MHz でピークが観察された。これは、 442MHz を中心とした周波数の信号が除去されたことを示している。この除去周波数は、 $7\text{V}/\mu\text{m}$ のDCバイアス印加時には高周波側にシフトした。これにより、除去周波数をDCバイアスによって変更できるチューナブルフィルタとしての動作が確認された。DCバイアス印加による除去周波数の変化を図4に示す。 $7\text{V}/\mu\text{m}$ の電圧印加による高周波数側へのシフト量は 36MHz であった。今回は、 $400\sim 500\text{MHz}$ 付近での動作であったが、作製厚膜の容量を選択することにより、周波数が数GHz付近での使用も可能と考えられる。



4. まとめ

インクジェット法により $(\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4})\text{TiO}_3$ 系の厚膜を作製した。 MgTiO_3 及び SiO_2 の添加により電気特性が向上した。さらにこの材料系でチューナブルフィルタの試作を行い、DCバイアス印加による動作を確認した。これによりインクジェット法による電子デバイス作製への応用の可能性が示された。

キーワード：強誘電体、インクジェット、チタン酸バリウム、チタン酸ストロンチウム、チューナブル

Preparation of Lead Free Ferroelectric Thick Films

Yuichi SAKAI, Tatsunori KAKUDA and Tomoaki FUTAKUCHI (Toyama Industrial Technology Center)

(Ba,Sr) TiO_3 -based thick films were prepared by an inkjet method with water-based ink containing powder. Dielectric constants and $\tan\delta$ values of thick films were measured. Both these values were improved by the addition of MgTiO_3 and SiO_2 . The prepared thick film was applied to a band elimination filter by connecting a chip inductor in series with the ground electrode. It was confirmed that the increase in the resonance frequency of this filter results from applying DC electric field. These results suggest that the thick films prepared by inkjet printing can be applied to tunable microwave devices.