

## 高周波デバイス用単結晶誘電体の損失低減に関する研究・調査

Study on improvement of single crystal used for high frequency devices

島田 武司<sup>1)</sup> 市川 耕司<sup>1)</sup> 山内 宏樹<sup>2)</sup>  
 Takeshi SHIMADA Kouji ICHIKAWA Hiroki YAMAUCHI

<sup>1)</sup>日立金属株式会社 先端エレクトロニクス研究所

<sup>2)</sup>原子力機構 新エネルギー材料研究グループ

### 要約

0.985LaAlO<sub>3</sub>-SrTiO<sub>3</sub> 単結晶を用いた中性子非弾性散乱測定によってフォノンの分散を測定した。LaAlO<sub>3</sub> 単結晶における分散との比較からこれらの分散の間に大きな差を見出すことはできなかった。この調査結果より、セラミックスで測定された SrTiO<sub>3</sub> の LaAlO<sub>3</sub> への少量添加による Qf 値の増加は、Debye 分散型の損失ピークの低下によると推察される。

**キーワード**：高周波誘電体材料、誘電損失、フォノン

### 1. 目的

LaAlO<sub>3</sub>-SrTiO<sub>3</sub> 単結晶の作製と得られた単結晶を用いて中性子非弾性散乱を測定し、フォノン分枝曲線を作成する。そして得られた曲線から誘電損失を計算し、2 フォノン差過程による損失発生の正当性について調査することを目的とする。2 フォノン差過程による誘電損失はゾーンバウンダリにおける音響フォノンと光学フォノンのエネルギー差から計算できるため<sup>(1)(2)</sup>、その計算値と高周波誘電特性の実測値を比較検討することによってその検証が可能となる。更にこの調査において理論的に達成できる誘電損失の限界値が決定できるため、極めて低い損失が要求されるミリ波・テラヘルツ帯で利用可能な材料開発の指針も見出せると考えている。

### 2. 方法

LaAlO<sub>3</sub>-SrTiO<sub>3</sub> 単結晶は直径 10mm、長さ 40mm の LaAlO<sub>3</sub> 単結晶を SrTiO<sub>3</sub> 粉中で 1600・60 時間熱処理することによって SrTiO<sub>3</sub> をドーブし、更に 60 時間酸素中で熱処理することによって Sr および Ti の単結晶中への拡散を促した。得られた単結晶を JRR-3 3 軸型中性子分光装置(TAS-1)にセットし中性子非弾性散乱を [100] および [110] 方向に対して測定した。



図 1 . LAO-STO 単結晶

### 3. 研究成果

得られた単結晶の写真を図 1 に示す。LaAlO<sub>3</sub> は SrTiO<sub>3</sub> をドーブすると茶褐色に変色することが知られており、図 1 から明らかに SrTiO<sub>3</sub> を固溶していることがわかる。また、FE-SEM の EDX 分析により SrTiO<sub>3</sub> のドーブ量は 1.5mol% であることがわかった。図 2 に示すとおり、セラミックスでは 1.5mol% の添加量の場合、約 10 から 20% の Q 値向上が期待できる<sup>(3)</sup>。この Qf 値向上がフォノン分散のゾーンバウンダリ付近における音響フォノンおよび光学フォノンのエネルギー差の変化（エネルギー差の増

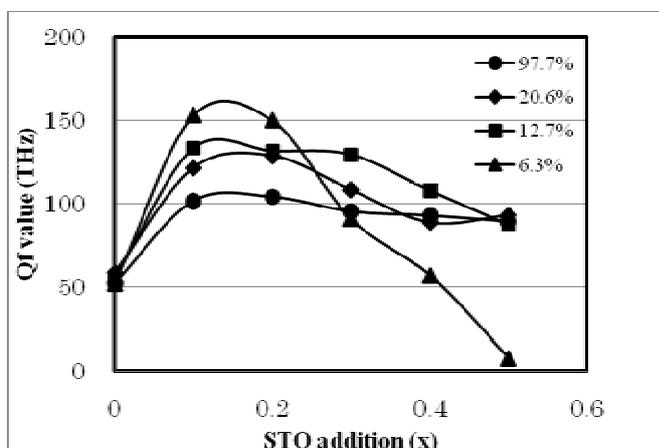


図 2 . LAO-STO 系セラミックスの Q 値の STO 添加量依存性

加)によるものと考え、フォノンの分散曲線を測定した。図3にその結果を示す。前の測定で得られた  $\text{LaAlO}_3$  分枝図と比較すると分枝の形状に若干の変化はあるものの、 $\text{LaAlO}_3$  と  $0.985\text{LaAlO}_3\text{-}0.015\text{SrTiO}_3$  のフォノン分散はほぼ同じと考えられ、少量の  $\text{SrTiO}_3$  の添加では分枝の形状は変化しないことがわかった。

#### 4. 結論・考察

1.5mol%の  $\text{SrTiO}_3$  添加ではフォノン分枝に変化が見られなかったことから、 $0.985\text{LaAlO}_3\text{-SrTiO}_3$  の  $Q_f$  値の増加は2フォノン差過程に起因する誘電損失の減少ではないことがわかる。図4は  $\text{LaAlO}_3$  単結晶における誘電損失の温度依存性から2フォノン差過程の寄与を差し引いた損失の変化を示している。図にあるように抽出値はDebye分散式でフィットすることができた。200K付近に見られる損失のピークは室温付近にも大きな影響を与えうることが示されている。今回の実験ではフォノン分枝に変化が見られなかったことから  $\text{LaAlO}_3\text{-SrTiO}_3$  系の材料において少量の  $\text{SrTiO}_3$  添加が誘電損失低減に有効である理由として、この損失ピークの減少が考えられる。今後、 $\text{LaAlO}_3\text{-SrTiO}_3$  の単結晶の誘電損失の温度依存性を測定し、この損失ピークが減少しているかどうかを確認する予定である。

#### 5. 引用(参照)文献等

- (1) X. Aupi, X., Breeze, J., Ljepojevic, N., Dunne, L. J., Malde, N., Axelsson, A-K. and Alford, N. McN., Microwave dielectric loss in oxides: Theory and experiment. *J. Appl. Phys.* 2004, 95, 2639-2645.
- (2) Sparks, M., King, D. F. and Mills, D. L., Simple theory of microwave absorption in alkali halides. *Phys. Rev. B*, 1982, 26, 6987-.
- (3) Shimada, T., Kura, K. and Ohtsuki, S., Dielectric properties and far infrared reflectivity of lanthanum aluminate - strontium titanate ceramics. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2006, 26, 2017-2021.

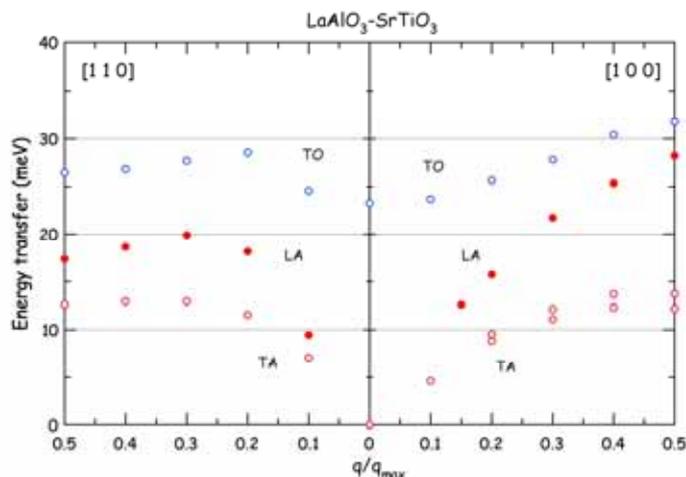


図3 . 0.985LAO-0.015STO 単結晶のフォノン分枝

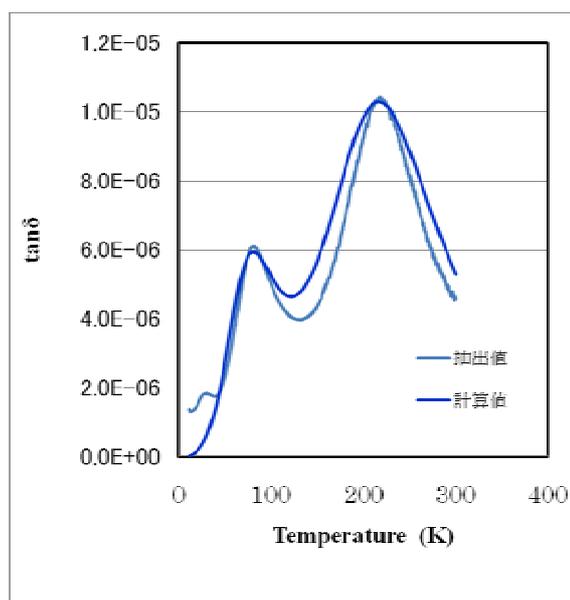


図4 . LAO 単結晶の局在配向分極