

賛助会員の声

エピタキシャル Al 電極を用いた高耐電力 SAW デバイスの開発

株式会社 村田製作所 技術・事業開発本部 (92 年卒)
 中川原 修

1. 研究背景

SAW (surface acoustic wave: 表面波) デバイスは、携帯電話などの電子機器に広く用いられる電子部品である。図1のように電場を加えると変位を生じる圧電基板の上に、くし型電極 (interdigital transducers:IDT) を薄膜プロセスで作製し、表面波の励振を利用して周波数フィルタとして機能させる構造である。従来用いられてきた誘電体フィルタに対し、薄膜微細加工技術を用いる SAW は小型・低背化が可能のため、第3世代携帯電話において電波の送受信を担うデュプレクサ (アンテナ分波器) としての応用が検討されてきた。フィルタリングの対象となる周波数は IDT 間隔で制御され、第3世代 (2GHz 帯) では $0.5 \mu\text{m}$ 程度の微細加工技術が必要となる。しかし、増幅した信号を送信する場合、微細な Al 薄膜配線に大電力が印加されると、Al 原子が自己拡散し、図2のようにヒロック (凝集) 等の機械的、結晶学的な構造欠陥が発生するためデバイス破壊を招き、実用化の障害となってきた。

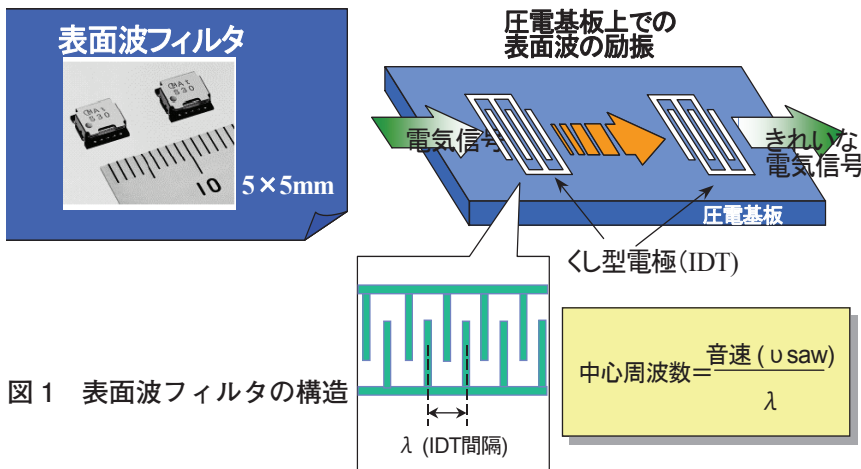


図1 表面波フィルタの構造

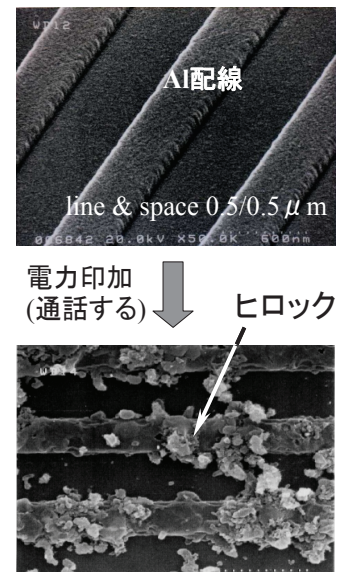


図2 従来の課題 (耐電力性)

2. 研究内容^{※)}

2-1 材料・プロセス開発

SAW デュプレクサの耐電力性を向上させる目的で、電極を構成する金属 Al 薄膜のエピタキシャル化に取り組んだ。エピタキシャルとは下地基板表面の原子配列に強く拘束された結晶成長の形態で、エピタキシャル膜は多くの場合、単結晶に近い非常に良質の薄膜となる。ヒロックの主因である Al の自己拡散は、活性化エネルギーの低い結晶粒界での原子の移動が支配的であるため、Al 電極を粒界が極めて少ないエピタキシャル膜とすることで耐電力性の向上を目指した。

SAW デュプレクサでは、表面波の伝搬特性に優れる LiNbO_3 や LiTaO_3 といった酸化物圧電単結晶が、基板として汎用的に用いられる。 LiNbO_3 と LiTaO_3 はイルメナイト型の非常に似通った結晶構造を持つ圧電材料である。いずれの基板上でも、Al 薄膜を直接成長させた場合、結晶格子の不整合が 3% 以上

と大きいため、Al (111) が面内ランダム配向した多結晶膜しか得られない。これに対して適切なバッファ層を模索した結果、Ti が非常に優れたバッファ効果を示すことを見出した。構造解析の結果、Al 薄膜は基板 (001) 面を核生成面としたエピタキシャル成長であることがわかった。図 3 は Al 電極を、透過型電子顕微鏡を用いて断面観察した像である。SAW デバイスでは (001) 面を傾斜させた基板を用いることが多く、その角度 (図 3 の場合 26°) に対応する傾斜を有する Ti、Al の格子縞 (原子配列) が観察されている。これは下地の結晶情報に強く拘束された結晶成長であり、Ti および Al はエピタキシャル膜になっている。方位関係は $\text{Al}(111)//\text{Ti}(001)//$ 基板 (001) であり、過去に報告されたことのない特異な結晶成長である。Ti は LiNbO_3 と LiTaO_3 との格子不整が約 0.7% と小さいため、基板と Al の格子不整を緩和する中間層として機能し、エピタキシャル成長が可能になったと考えられる。

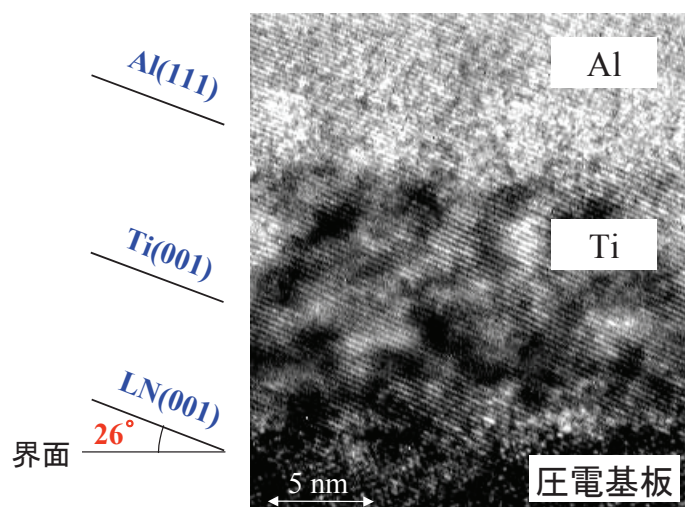


図 3 エピタキシャル Al 電極の断面電子顕微鏡像

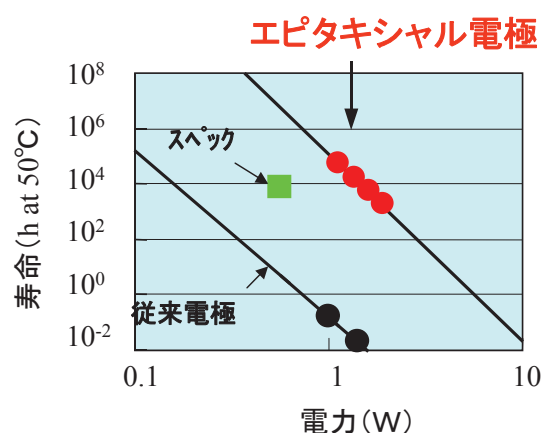


図 4 SAW デバイスの耐電力性比較

2-2 表面波デバイスへの応用

エピタキシャル Al 膜を電極とする SAW デバイスを作製・評価したところ、従来の多結晶膜を電極とする同一設計の素子に比べて、図 4 のように耐電力性が破壊寿命換算で 10 万倍以上と飛躍的に向上した。これにより第 3 世代携帯電話の規格の一つである W-CDMA 方式の端末への搭載が可能となり、2004 年初頭の商品化を実現した。その後、第 3 世代の通信規格 (UMTS) の 2GHz、1.7GHz、800MHz 帯の国内外の SAW デュプレクサに幅広く応用され、現在では世界シェア TOP の生産・販売を誇っている。

3. まとめ

以上のように、実用化の大きな障壁となっていた耐電力性向上の課題に対して、Al 電極をエピタキシャル成長させることで解決し、SAW デュプレクサとして世界初の商品化を実現した。本技術は汎用性が非常に高く、複数の周波数帯の SAW デュプレクサとして世界の通信市場で広く使用されている。また、結晶学的な見地から新規な結晶成長様式を見出したことで、学術的な意義も小さくない。これらが評価され、本研究は 2007 年に日本真空協会スパッタリングおよびプラズマプロセス部会賞を、また 2010 年に米国セラミクス学会 (The American Ceramic Society) のフルラス賞 (Richard M. Fulrath Award) を受賞した。

※ 例えば、O.Nakagawara et al., J. Crystal Growth 249 (2003) 497-501.