

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 13148 号
------	---------------

氏 名 近藤 真矢

論文題目

強誘電体エピタキシャル薄膜の成長とその電気光学特性に関する研究

(Study on growth and electro-optic properties of epitaxial ferroelectric thin films)

論文審査担当者

主査 名古屋大学
委員 名古屋大学
委員 名古屋大学
委員 名古屋大学
委員 東京工業大学

准教授 山田 智明
教授 長崎 正雅
教授 尾上 順
准教授 柚原 淳司
教授 舟窪 浩

論文審査の結果の要旨

近藤真矢君提出の論文「強誘電体エピタキシャル薄膜の成長とその電気光学特性に関する研究」は、強誘電体薄膜の歪みや強弾性ドメインが電気光学（EO）特性に与える影響を明らかにしており、さらにはデバイスに利用可能なMgO基板上で平滑かつ高い結晶性の強誘電体薄膜の作製技術を開発している。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景と目的を与えている。

第2章では、強誘電体薄膜の歪みがEO特性に与える影響を明らかにするために、*c*ドメイン(001)配向のエピタキシャル(Ba, Sr)TiO₃ (BST) 薄膜を例として、BST薄膜の歪みがEO特性に与える影響の理論予測と実験検証を行っている。まず、基板拘束された薄膜において光学周波数における誘電率と分極の関係から、内因的EO効果と光弾性効果の寄与を考慮した現象論モデルを構築し、EO効果の大きさがBSTの組成によらず、温度と歪みによって変化した常誘電・強誘電相転移温度の差に支配されることを明らかにしている。また、パルスレーザー堆積（PLD）法でSrRuO₃ (SRO)/ SrTiO₃ (STO)(001)基板上に歪みを変化させたBST薄膜を作製し、自作の電界変調型エリプソメトリー装置を用いて、歪みによって変化した常誘電・強誘電相転移温度に向かってEO係数が増大することを実験的に証明している。これらの結果は、強誘電体薄膜の歪み制御、すなわちストレインエンジニアリングが、EO特性を制御する手法として有用であることを示す重要な知見である。

第3章では、歪みによって強弾性ドメイン構造が安定化する場合について、Pb(Zr, Ti)O₃ (PZT)薄膜を例として、基板垂直方向の分極成分が等価なドメインを有する(001)配向PZT薄膜と等価でないドメインを有する(111)配向PZT薄膜をPLD法で作製し、そのEO特性を調べている。その結果、DC電界およびAC電界に対するEO応答の変化は、(001)配向PZT膜では一定であったが、(111)配向PZT膜においては電界の大きさによってEO応答が大きく変化することを明らかにしている。また、この変化はドメインスイッチングによるドメイン割合の変化で矛盾なく説明できることを示している。これらの結果は、強弾性ドメインのドメインスイッチングを利用することでEO特性を向上させることが可能であることを示す重要な知見である。

第4章では、デバイスに利用可能なMgO基板上に平滑で結晶性の高いエピタキシャルBST薄膜を作製する手法として、第一原子層制御したSTO/TiO₂バッファ層の導入を提案している。PLD法でMgO上にTiO₂を約1 ML堆積することで、結晶性が高く平滑なSTO/TiO₂バッファ層を作製し、その上に下部電極SRO及び強誘電体層BSTの2次元的なエピタキシャル成長が可能であることを明らかにしている。その結果、BST膜の結晶性が向上し1000以上の誘電率を達成した。本成長技術は、他の材料組成の強誘電体薄膜にも広く適用できることから、デバイス応用に向けた工学的知見として有用である。

第5章では、薄膜EOデバイスへの応用が期待されているLa添加PZT (PLZT) の島状成長を抑制する手法として、低温で極薄い緩和層を挿入した後、高温でエピタキシャル成膜を行う2段階成膜法を提案している。その結果、STO及びMgO基板上で2段階成膜によるエピタキシーの低下は観測されず、かつ通常の1段階成膜に比べて島状成長が抑制され、より平滑な表面を形成できることを明らかにしている。一方で、MgO基板上では完全な島状成長の抑制は困難であることも明らかにしている。これらは、デバイス応用に向けた工学的知見として有用である。

第6章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では強誘電体薄膜の歪みや強弾性ドメインがEO特性に与える影響を明らかにし、さらにはデバイスに利用可能なMgO基板上で平滑かつ高い結晶性の強誘電体薄膜の作製技術を開発している。構築された理論モデルおよび得られた実験結果は、強誘電体薄膜の「歪みやドメイン」によってEO特性の制御・向上が可能であることを示しているほか、MgO基板上における「第一原子層制御によるエピタキシャルバッファ層の導入」と「2段階成膜法」は、デバイス応用に向けた強誘電体薄膜の作製技術として重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である近藤真矢君は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。