

論文内容の要旨

博士論文題目 結晶配向強誘電体薄膜材料の作製と
焦電・圧電デバイスへの応用に関する研究

氏名 藤井 覚

(論文内容の要旨)

鉛系ペロブスカイト化合物は、その優れた強誘電性、焦電性、圧電性から、不揮発性メモリ、センサ、アクチュエータなど幅広い電子部品に応用されている。PbTiO₃などはc軸方向に大きな自発分極を持っているため、c軸方向に配向制御した薄膜を作製することにより、高性能なデバイスが実現できると考えられる。また、Si ウエハ上に配向制御した薄膜材料を形成することにより、半導体プロセス技術を応用して従来にない超小型なデバイスを実現できると期待される。

以上の考えのもと、本論文では、鉛系ペロブスカイト薄膜材料の分極軸方向に配向制御させる技術と、この配向膜を用いて、超小型、高性能な薄膜デバイスを量産、実用化することを目的としている。

第1章では、まず、強誘電体薄膜材料に関する既往の研究、およびこれをふまえた上で配向性強誘電体薄膜とデバイス応用に関する意義と課題についての議論を行い、本論文の目的を示した。

第2章では、デバイス応用を目的に、Si を初め種々の低コスト基板上に分極軸方向のc軸に配向したPb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O₃(PLT)薄膜をRF-マグネトロンスパッタ法により作製するため、NaCl 結晶構造のバッファ層の導入と、成膜過程後の冷却過程で発生する熱応力の効果による配向制御を検討している。その結果、c軸配向率はバッファ層の導入および、基板の熱膨張係数の増加に従って向上し、ステンレス基板では、c軸に配向した膜が形成できることを示した。また、焦電特性も基板の熱膨張係数の増加とともに向上することを示した。特に、熱膨張係数の大きなステンレス基板上において、単結晶 MgO 基板上に作製したエピタキシャル膜に匹敵する焦電係数を実現し、デバイス応用への可能性を示した。

第3章では、優れた圧電特性が報告されているPb(Zr,Ti)O₃(PZT)において、分極軸方向であるc軸に高配向した膜の作製を検討している。まず、単結晶 MgO 基板上にc軸配向したPZT薄膜を形成し、PZT薄膜のみで構成された片持ち梁構造デバイスを作製し、d₃₁定数および膜の機械特性の評価を行った結果、分極処理なしで、バルクと同等の圧電定数であることを示し、圧電薄膜デバイスの可能性を示した。さらに、種々

の基板の上にバッファ層を形成してc軸配向PZT薄膜を作製し、電気および圧電特性と基板の熱膨張係数の関係を明らかにした。この結果、圧電特性は基板の熱膨張係数の増加とともに減少し、熱応力に影響されることを明らかにした。

第4章では、圧電薄膜アクチュエータへの応用のために、PZTよりも圧電 d_{31} 定数が高い薄膜材料の開発を目的に、PZTに複合ペロブスカイトであるPMN:Pb($Mg_{1/3}Nb_{2/3}$) O_3 を固溶させたPMN-PZT薄膜材料の作製を、RF-マグネトロンスパッタ法により検討している。その結果、Si上にc軸配向したPMN-PZT薄膜が作製可能であり、分極処理無しでPZT薄膜よりも50%も高い圧電 d_{31} 定数が得られることを示している。この結果から、PMN-PZT薄膜は、インクジェットヘッドなどの薄膜アクチュエータへの応用に適した材料であることを明らかにしている。

第5章では、高度に(001)配向し、自発分極したPLT薄膜を焦電マイクロデバイスに応用し、 8×64 画素の2次元熱情報を得る焦電薄膜型熱画像センサシステムを開発し、エアコンの快適空間制御へ実用化した結果について述べている。また、高度に(001)配向し、自発分極したPZT薄膜を圧電マイクロデバイスとして、主にカーナビゲーションシステムや手ブレ防止用途の音叉振動型角速度センサと、400ノズルを持つヘッドを30ヘッド配置した産業用インクジェットラインヘッドのアクチュエータの実用化についても述べ、自発分極した薄膜材料により、小型・高性能なデバイスが実現できることを示している。

第6章では、本論文で得られたこのような結晶配向性強誘電体薄膜材料およびこれを応用した焦電・圧電デバイスに関する知見の総括を行い、今後の課題について提示を行っている。

以上のように、本論文では、高度に結晶配向制御した強誘電体薄膜材料の種々の作製制御技術を開発し、その焦電・圧電デバイスへの応用について実際に実用化された例を引用して述べており、焦電・圧電デバイスのさらなる高性能化が求められる中、その開発指針を示すものであり、大変有意義な知見であると言える。

(論文審査結果の要旨)

鉛系ペロブスカイト化合物は、その優れた強誘電性、焦電性、圧電性から、不揮発性メモリ、センサー、アクチュエータなど幅広い電子部品に応用されている。PbTiO₃などはc軸方向に大きな自発分極を持っているため、c軸方向に配向制御した薄膜を作製することにより、高性能なデバイスが実現できる。また、Siウエハ上に配向制御した薄膜材料を形成することにより、半導体プロセス技術を応用して従来にはない超小型なデバイスを実現できると期待される。

以上の考えのもと、本論文では、鉛系ペロブスカイト薄膜材料の分極軸方向に配向制御させる技術と、この配向膜を用いて、超小型、高性能な薄膜デバイスを量産、実用化することを目的としている。

本論文では、まず、強誘電体材料を分極軸方向に配向させることの意義について論じた後、Siなどの低コスト基板上に分極軸方向のc軸に配向したPb_{1-x}La_xTi_{1-x/4}O₃(PLT)薄膜をRF-マグネトロンスパッタ法により作製を行っている。その結果、c軸配向率はバッファ層の導入および、基板の熱膨張係数の増加に従って向上し、特に熱膨張係数の大きいステンレス基板ではc軸に配向した膜が形成できることを示した。また、焦電特性も基板の熱膨張係数の増加とともに向上し、特に熱膨張係数の大きいステンレス基板上において、単結晶MgO基板上に作製したエピタキシャル膜に匹敵する焦電係数を実現している。

次に、優れた圧電特性が報告されているPb(Zr,Ti)O₃(PZT)において、MgO基板上に分極軸方向であるc軸に高配向した膜の作製を実現し、分極処理なしで、バルクと同等の圧電d₃₁定数であることを示し、圧電薄膜デバイスの可能性を示した。さらに、種々の基板上にバッファ層を形成してc軸配向PZT薄膜を作製し、圧電特性は基板の熱膨張係数の増加とともに減少し、熱応力に大きく影響されることを明らかにしている。

次に、RF-マグネトロンスパッタ法を用いてPZTに複合ペロブスカイトであるPMN:Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃を固溶させたPMN-PZT薄膜材料の作製を検討し、Si上においてc軸配向したPMN-PZT薄膜が作製可能であり、分極処理無しでPZT薄膜よりも50%も高い圧電d₃₁定数が得られることを示している。

次に、高度に(001)配向し自発分極したPLT薄膜を焦電マイクロデバイスに応用し、エアコンの快適空間制御へ実用化した結果および、PZT薄膜を音叉振動型角速度センサーや産業用インクジェットラインヘッドの圧電マイクロデバイスへの応用について述べ、自発分極した薄膜材料により、小型・高性能なデバイスが実現できることを示している。

以上のように、本論文では、高度に結晶配向制御した強誘電体薄膜材料の作製制御技術の開発とその焦電・圧電デバイスへの応用について、実際に実用化された例を引用して

述べており、焦電・圧電デバイスのさらなる高性能化が求められる中、大変有意義な知見を得ている。よって審査委員一同は本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。