

氏名	スズキ マサシ 鈴木 雅視
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博第 972 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 23 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当 課程博士
学位論文題目	c 軸平行もしくは c 軸垂直極性反転多層 AlN 系薄膜の形成とその高次モード音響共振子への応用 (Growth of c-axis parallel or normal polarity inverted multilayered AlN-based films and applications to high overtone mode acoustic wave resonators)
論文審査委員	主査 教授 一瀬 郁夫 教授 市川 洋 教授 種村 眞幸 准教授 木村 高志

論文内容の要旨

本論文は、イオンビームアシスト成膜法による c 軸平行もしくは c 軸垂直極性反転多層 AlN 系薄膜の形成とそれを用いた高次モード音響共振子について詳述したものである。

AlN ウルツ鉱構造薄膜をアモルファス基板上に形成すると、c 軸が基板面に対して垂直に自己配向する性質がある。これは六方最密面である(0001)面の表面エネルギーが最も低いためである。AlN 薄膜では、c 軸方向によって励振する音波が決定される。自己配向 c 軸垂直 AlN 薄膜では縦波のみが励振され、この縦波型 c 軸垂直 AlN 薄膜共振子は移動体通信端末の周波数フィルタとして実用化されている。一方、AlN 薄膜を用いて横波のみを励振するためには、c 軸を基板に対して平行に配向させる必要がある。横波は液体界面でのエネルギー漏洩が小さい。よって、c 軸平行 AlN 薄膜共振子は液体物性センサやバイオマーカーといった液体中動作が必要なセンサへの応用が期待できる。

一般的な圧電薄膜内の極性は一方向であり、基本モードで励振する。対して、極性反転多層膜では、高次モードでの励振が可能となる。そのため、動作周波数の高周波化やデバイスの耐電力性向上に繋がる。

AlN 薄膜の結晶方位制御および c 軸平行 AlN 薄膜形成にはエピタキシャル成長法が、極性制御にはバッファ層挿入が一般的に用いられている。しかしながら、両者とも音響共振子に必要な下部電極の形成および極性反転多層膜の形成が困難である。一方、成膜中のイオンビーム照射に対する各結晶面におけるスパッタ率異方性を利用する結晶方位制御が報告されている。この方法は基板や下地に依存しない。

そこで本論文では、AlN 系薄膜の結晶方位および極性が、成膜中のイオンビーム照射により制御できるか調査を行っている。またアモルファス基板上への c 軸平行 AlN 薄膜、c 軸平行極性反転 AlN 多層膜、c 軸垂直極性反転 ScAlN 多層膜の形成を試み、それらを用いた音響共振子の作製および評価を目的とした。

第 1 章では、上述した研究背景および目的を述べている。特に逆圧電効果による超音波励振、窒化アルミニウム薄膜共振子、3 次元構造薄膜の特徴と応用について詳述している。

第 2 章では、成膜中のイオンビーム照射による AlN 薄膜の結晶方位制御、c 軸平行 AlN 薄膜形成について述べている。RF マグネトロンスパッタ法による AlN 薄膜の形成中に、ECR イオン源から加速電圧 3 kV のイオンビーム照射を行うことにより、アモルファス Al 膜/石英ガラス基板上への c 軸平行 AlN 薄膜形成に世界で初めて成功し、この薄膜を用いた音響共振子では、純横波のみの励振を確認した。

第 3 章では、第 2 章で得られた知見を基にした c 軸平行極性反転多層膜、螺旋構造膜形成、および c 軸平行極性反転多層膜を用いた横波型高次モード音響共振子への応用、評価について述べている。各層を形成する際のイオンビーム照射の面内方向を変化させることで、c 軸平行膜の極性方向が制御できることを明らかにした。これにより c 軸平行極性反転 AlN 多層膜の形成、この構造膜を用いた音響共振子による純横波のみかつ高次モードでの励振に成功した。

第 4 章では、成膜中のイオンビーム照射による c 軸垂直 AlN 系薄膜の極性制御法の開発について述べている。バッファ層挿入を用いない c 軸垂直 AlN および ScAlN 薄膜の極性制御には成膜中に負イオンを照射する酸化物粒スパッタ法、正イオンを照射する陽極 RF バイアス成膜法の両者により実現した。イオン照射なしの AlN 系薄膜では Al 極性となるが、イオン照射された薄膜では N 極性となることが判明した。

第 5 章では、第 4 章で得られた知見を基にした c 軸垂直極性反転多層膜形成、および縦波型高次モード音響共振子の作製、特性評価について述べている。c 軸垂直極性反転 ScAlN 多層膜音響共振子の形成に成功し、高次モードでの励振およびイオン照射による極性制御は下層の極性に影響を及ぼされないことを実証した。

第 6 章では、第 1-5 章の総括し、本研究の結論を述べている。

論文審査結果の要旨

結晶の物理定数は結晶方位や極性方向により大きく変化する。そのため、薄膜内の結晶方位、極性方向が自由に制御された3次元構造膜は、電子デバイスの新機能発現や高性能化の礎となりうる。しかしながら、一般的な結晶方位制御技術であるエピタキシャル成長法や極性制御技術であるバッファ層挿入法では結晶方位、極性方向を自由に制御することができず、3次元構造膜の形成は不可能である。鈴木雅視氏の博士論文では、圧電膜として代表的なAlN薄膜における3次元構造膜（c軸平行極性反転多層膜、螺旋構造膜、c軸垂直極性反転多層膜）の形成および薄膜共振子への応用を目的とし、成膜中のイオン照射による結晶方位、極性制御技術の確立、そのメカニズムの解明を行っている。

第1章では、逆圧電効果による超音波励振、薄膜共振子、極性反転多層膜の特徴と応用について概説するとともに、本研究の目的を述べている。第2章では、イオン照射がAlN薄膜の結晶方位に及ぼす影響、本手法で形成されたc軸平行AlN薄膜の圧電特性について論じている。AlN成膜中のイオン照射エネルギーを変化させることで通常のc軸垂直配向からc軸平行配向に制御可能であること実証した。この結果はウルツ鉱薄膜でのイオン照射による結晶方位制御が各結晶面のスパッタ損傷異方性に起因していることを示している。また、c軸平行AlN薄膜を用いた純横波励振に世界で初めて成功している。第3章では、イオン照射による結晶方位制御法を用いたc軸平行極性反転多層膜、螺旋構造膜形成について論じている。イオン照射面内方向を制御することによりc軸平行膜の極性を制御できることを明らかにし、c軸平行極性反転多層膜を用いた薄膜共振子での純横波かつ高次モードでの励振に成功している。さらにイオン照射面内方向を連続的に変化させることによる螺旋構造膜形成にも成功している。第4章では、成膜中の正イオンまたは負イオン照射がc軸垂直AlN系薄膜の極性方向に及ぼす影響について論じている。成膜中のイオン照射を強めることにより、通常のAl極性成長からN極性成長へと転じることを明らかにした。Al極性面とN極性面のスパッタ損傷異方性およびイオン照射による膜応力発生が極性反転現象の原因だと鈴木氏は推測している。第5章では、イオン照射による極性制御法を用いたc軸垂直極性反転多層膜の形成について述べている。c軸垂直極性反転ScAlN多層膜共振子では高次モード共振が観測され、本手法では下層の極性に影響を及ぼされず極性反転が可能であることを実証している。

以上のように、本論文では、AlN薄膜での新たな結晶方位、極性制御法を提案すると共に、従来不可能であった3次元構造膜の形成、薄膜共振子への応用を実現している。これらの成果は、学術的に極めて高い価値を有している。また、将来、薄膜共振子のみならず半導体デバイスや光デバイスへの応用や高性能化に有用なものになることが期待される。よって、鈴木氏が提出した論文は、博士（工学）の学位論文として十分に価値があるものと判断する。