

氏名	山本孝 やまもと たかし
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第 683 号
学位授与の日付	昭和 55 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学研究科電子工学専攻
学位論文題目	ZnO 圧電配向膜の作成と評価および表面波デバイスへの応用

論文調査委員 (主査) 教授 川端 昭 教授 佐々木昭夫 教授 高木俊宜

論文内容の要旨

本論文はプレーナマグネトロン型高周波スパッタ装置を用いて ZnO 膜の作成法を検討し、従来の方法に比べて約 1 桁早い速度で圧電性のすぐれた ZnO 薄膜と、光導波路用の表面平坦性のよい ZnO 薄膜をガラスや熱酸化膜付き Si 単結晶などの基板上に作成し、その応用についての実験的研究の成果をまとめたもので、8 章からなっている。

第 1 章は序論で、従来の ZnO 膜の作成方法を説明し、主として表面弾性波素子材料としての ZnO 膜の位置付けと本研究の目的について述べている。

第 2 章では本研究に用いたプレーナマグネトロン型高周波スパッタ装置について説明し、とくに磁界の効果について述べ、実験によってこの効果を明らかにしている。すなわち、磁界の効果は放電により生じたプラズマ中の電子をターゲット付近に閉じ込め、電子衝撃による基板加熱とスパッタ膜の再スパッタ効果などの悪影響を抑制するもので、高周波入力 400W までの範囲で膜の成長速度が入力パワーに比例することを示した。また、200W の入力で、雰囲気 (Ar+O₂) ガス圧と膜の成長速度との関係をしらべ、直径 10cm の ZnO 磁器ターゲットを用いたとき、ターゲットから 4.5cm の位置に基板を置くと、基板温度上昇は 300℃ 以下で、均一な厚さの膜が得られることを示し、膜の成長速度も 3.3μm/hr と高速化できることを明らかにした。

第 3 章では各種の基板を用いて得られた膜の評価について述べている。基板としてガラス (コーニング 7059)、配向した金電極付きガラスおよび熱酸化膜付きの Si 単結晶を用い、スパッタ条件を種々変えて得られた ZnO 膜について、X 線回折線、X 線ロックンギング曲線、反射ラウエ写真および電子線回折を用いて c 軸配向性を系統的にしらべ、高周波入力 200W、基板温度 300℃ 以上、雰囲気ガス圧 $5 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-2}$ Torr ですぐれた ZnO 配向膜が得られることを示した。またガラス基板上の ZnO 配向膜の表面平坦性については電子顕微鏡で観察し、表面あらさ計でその凹凸を測定した結果、0.2μm 以下で CVD 膜と同程度であることを明らかにした。さらに膜の定量分析をオージェ電子分光分析で行い、均一な成分膜であることを確認している。

第4章では ZnO 膜の光学的性質をしらべ、光導波路としての応用を検討している。いわゆる m-line 法で He-Ne レーザ光を用いて屈折率を測定し、 $n_o=1.9922$ 、 $n_e=2.0056$ とほぼ単結晶と同じ値を得ている。また $3400\sim 7500\text{\AA}$ の範囲で膜の光透過率を測定して屈折率の波長依存性を求め、その吸収特性からバンドギャップを求め、単結晶の値とほぼ等しい 3.07eV の値を得ている。さらに光導波路として He-Ne レーザ光を用いて光減衰率を測定し、0次光で最小 1.6dB/cm の値を得ている。

第5章では薄膜の電氣的、弾性的ならびに圧電的性質をしらべ、表面弾性波素子への応用について論じている。c軸配向膜の電気抵抗は $10^7\Omega\text{cm}$ 以上、絶縁破壊電界は $5\times 10^6\text{V/cm}$ 程度で、圧電トランスデューサとして十分な特性をもつことを示した。また表面波速度と電気機械結合係数を測定し、単結晶の定数から期待される理論計算値とほぼ変わらないことを示し、圧電薄膜としてもすぐれていることを明らかにしている。表面弾性波素子への応用で問題となる伝播損失についても光プロービング法で測定し、 $30\sim 200\text{MHz}$ の範囲で損失が周波数の2乗に比例することを見出し、 72.5MHz で 3.75dB/cm 程度の値を得ている。応用例として 26 、 53 、 97 および 161MHz の表面波フィルタを試作している。

第6章では基板の性質と ZnO 膜の厚さにより高次モードの表面弾性波が存在することを理論的に指摘し、実験により検証し、その応用について検討している。膜の音速より速い値をもつ基板として Si 単結晶板を選び、電極構造と ZnO 膜厚を適当に選ぶことにより、1次と2次モードの表面弾性波の励起効率が同じ程度にできることを示し、周波数混合や増幅素子としての可能性を実験的に示し、さらに可変遅延線を試作している。

第7章では AlN 薄膜の作成とその応用について述べている。AlN は ZnO より音速が速く高周波材料として注目されているが、これまで基板温度が 1000°C 以下では圧電性の膜は得られていなかった。本研究に用いた装置で作成すると、基板にガラス(コバル)やサファイア単結晶を用いた場合、基板温度 150°C 以上で圧電性薄膜が得られることを示し、 350MHz の表面弾性波フィルタを試作している。

第8章は結論で、本研究で得られた成果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

圧電性と電気光学効果をもつ ZnO 薄膜は新しい機能素子材料として注目されている。本論文はプレーナマグネトロン型高周波スパッタ装置を用いてc軸配向性の優れた、しかも表面平坦性のよい ZnO 薄膜の作成条件を検討し、その膜の性質をしらべ、表面弾性波素子と光導波路素子への応用を提案したもので、得られた成果のおもなものは次のとおりである。

1. ターゲット面に平行な弱い磁界を加えて高周波スパッタを行なうと、放電プラズマ中の電子がターゲット近くに閉じこめられ、スパッタ速度が向上することを利用し、c軸配向性のよい ZnO 膜の成長速度を従来の方法に比べて約1桁早くできることを実験的に明らかにした。
2. 基板にガラスや熱酸化膜付き Si 単結晶などを用い、基板温度、基板位置、雰囲気 ($\text{Ar}+\text{O}_2$) ガス圧および高周波電力などのスパッタ条件とスパッタ膜のc軸配向性や表面平坦性との関連性を系統的に詳細にしらべ、均一な組成と厚さのc軸配向膜の作成技術を確立した。
3. c軸配向した ZnO 膜の光透過率や屈折率などを測定し、ほぼ単結晶と同じ値を示すことを明らか

にし、He-Ne レーザ光を導波させて光減衰率を測定し、0次光で最小 1.6dB/cm の値を得ているが、この薄膜の光導波路素子材料としての可能性を示唆したものである。

4. c軸配向した ZnO 膜の表面波速度と電気機械結合係数を実測し、ZnO 単結晶の諸定数から期待される理論計算値とほぼ同じ値が得られることを示した。

5. 基板と薄膜の2層構造では、基板の弾性的性質と ZnO 膜の厚さにより高次モードの表面弾性波が存在すること、および電極構造により1次と2次モードの表面波を同じ程度の効率で励起できることを理論的に示し、Si 単結晶基板を用いて実験的にも明らかにした。さらにこれらの性質を利用して周波数混合素子、増幅素子および可変遅延線を試作してその可能性を示した。

6. ZnO より表面波の音速の速い AlN 膜について、同じ方法で圧電性のすぐれた配向膜が作成できることを示し、350MHz の表面波フィルタを試作して高周波素子材料としての可能性を示した。

以上要するに、本論文は ZnO スパッタ薄膜の作成技術を確立し、その工業化に基礎資料を提供して表面弾性波素子の実用化に貢献し、光導波路素子への可能性を示したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。