

γ -Al₂O₃/Si(100)基板上の Pb(Zr,Ti)O₃ 薄膜焦電型赤外線センサ の集積化に関する研究

論文要旨

本研究は結晶配向 Pb(Zr,Ti)O₃ (PZT) 薄膜赤外線センサと CMOS (complementary metal oxide semiconductor) 回路を γ -Al₂O₃/Si 基板上へ集積化するために必要な要素技術を確立することを目的として研究を行った。 γ -Al₂O₃/Si と CMOS 回路との集積化におけるプロセス適合性を調査した。また焦電型赤外線センサ応用へ向けた積層赤外線吸収膜の検討、 γ -Al₂O₃/Si 上へ PZT 薄膜の形成を行い、赤外線センサとしての評価を行った。

有機金属化学気相成長法(MOCVD 法)により成長した Si 基板上の結晶配向 γ -Al₂O₃ 薄膜について、CMOS 回路作製工程のアニールプロセスを行い、 γ -Al₂O₃ 薄膜の結晶性を調査した。結晶性は高速反射電子線回折、X 線回折を用い分析した。また構成元素の結合状態、表面状態の変化を X 線光電子分光、走査型電子顕微鏡を用いて調べた。 γ -Al₂O₃ 薄膜は結晶配向 PZT 薄膜を Si 基板上に集積化するための重要な下地材料であるが、CMOS 作製プロセスにおけるアニールプロセスの温度は γ -Al₂O₃ 薄膜の成長温度に比べて高く、再結晶化や雰囲気ガスによる化学反応等による結晶性、膜質の変化が考えられる。結果より、H₂O vapor 雰囲気における 1000°C のアニールにより γ -Al₂O₃/Si で γ -Al₂O₃ 表面に SiO₂ が形成される等膜質の変化を確認できた。この膜質変化を防ぐため H₂O 分子を通さない Si₃N₄/SiO₂ 膜を γ -Al₂O₃ 上の保護膜として提案し、その有用性を確認した。そしてこれらの結果から γ -Al₂O₃/Si 基板のアニールによる影響について考察をした。また CMOS 回路と γ -Al₂O₃ 薄膜を集積化した際の CMOS 回路特性について評価した。

結晶配向 PZT 薄膜赤外線センサを γ -Al₂O₃/Si 基板へ形成するデバイスの応用

として、PZT 薄膜に適合する赤外線吸収膜の検討・設計・作製・評価を行った。赤外線センサに用いる 8 μm から 14 μm の波長帯で赤外線吸収特性をもつ CMOS 適合材料を積層させた SiO₂/SiN 積層膜を設計・作製して PZT 薄膜赤外線センサ上へ形成した。その結果、平均が 86%となるような赤外線吸収率が得られた。また検出感度向上に向けて有限要素法を用いた過渡伝熱解析に基づき、センサ構造の設計を行った。本センサの赤外線応用評価を行った結果、 $1.15 \times 10^7 \text{ cmHz}^{1/2}/\text{W}$ の比検出能 D^* が得られ、デバイス応用に用いることができる値であった。

最後に $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$ 基板上へ PZT 薄膜赤外線センサと CMOS 回路の集積化を行った。全 140 工程、マスク 20 枚を要してデバイスの作製を行った。全工程後の PZT 薄膜の強誘電体特性及び CMOS 回路特性を評価した結果、両方とも特性の劣化なく作製することに成功し、結晶配向 PZT 薄膜赤外線センサを CMOS 回路と集積化するプロセスの確立に成功した。

本研究により、CMOS 回路と PZT 薄膜赤外線センサを $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$ 基板上へ集積化するためのプロセスを確立した。これらの研究成果より、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$ 基板上の結晶配向した PZT 薄膜を用いることで赤外線センサと CMOS 回路の集積化デバイス実現への見通しが得られた。

Study on Integration of Pb(Zr,Ti)O₃ Thin Films Pyroelectric Infrared Detectors on γ -Al₂O₃/Si(100) substrate

Abstract

In this study, integration processes of crystalline orientated Pb(Zr,Ti)O₃ (PZT) film infrared detectors and complementary-metal-oxide-semiconductor (CMOS) circuits on a γ -Al₂O₃/Si substrate was investigated. The process compatibility of γ -Al₂O₃/Si and CMOS circuits was investigated. A multilayer-stack infrared absorber was proposed, designed, fabricated, and characterized in order to apply on a PZT film infrared detector on γ -Al₂O₃/Si substrate. The infrared detectivity of the fabricated detector with the proposed infrared absorber was characterized.

The crystallinities of the γ -Al₂O₃ film grown by metal organic chemical vapor deposition were investigated after anneal processes in CMOS fabrication. The crystallinities were analyzed by reflection high energy electron diffraction and x-ray diffraction. The chemical bonding state of the film surface was analyzed by x-ray photoelectron spectroscopy. As a result, anneal of γ -Al₂O₃/Si at 1000°C in H₂O vapor atmosphere appeared to change condition of γ -Al₂O₃ film. In order to prevent the annealed effect, Si₃N₄/SiO₂ passivation films which H₂O molecules are not able to penetrate through the films were proposed. The effect of the annealing process on γ -Al₂O₃/Si substrate was proposed and considered based on above experimental results. Circuit characteristics of fabricated transistors integrated on γ -Al₂O₃/Si substrate were evaluated.

An infrared absorber for an application of crystalline PZT film infrared

detectors on γ -Al₂O₃/Si substrate was proposed, designed, fabricated, and characterized. SiO₂/SiN multilayer-stack film based on CMOS compatible materials which possess infrared absorption in the wavelength range from 8 to 14 μ m was designed and fabricated on the PZT film infrared detectors. Average infrared absorptance of 86% was obtained on the proposed multilayer-stack film integrated PZT film detectors. Detector structures were also designed based on transient heat analysis using finite element model in order to improve sensitivity of the PZT film detectors. Specific detectivity of 1.15×10^7 cmHz^{0.5}/W, a useful value for device applications for infrared detector, was achieved at 30 Hz on the fabricated PZT pyroelectric detector.

At last, the integration of the PZT thin film infrared detectors and CMOS circuits based on γ -Al₂O₃/Si substrate was carried out. 140 processes and 20 masks were required to fabricate the device. The characterization on the polarization of the PZT thin film and CMOS circuits after all fabrication processes were obtained without inferior characteristics. The fabrication processes of PZT thin film infrared detector integrated on CMOS circuits were successfully established.

In conclusion, integration processes of CMOS circuits and PZT film infrared detector on γ -Al₂O₃/Si substrate were established. The research results suggest that realization of high performance infrared detector based on integration of CMOS circuits and PZT film infrared detector using γ -Al₂O₃/Si substrate.