

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19（共通）

科学研究費助成事業

研究成果報告書



令和 元 年 6 月 25 日現在

機関番号：55402

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2017～2018

課題番号：17H07317

研究課題名（和文）高信頼性フレキシブル集積デバイス実現に向けた低温プロセス技術の開発

研究課題名（英文）Development of low-temperature process technology to realize highly reliable flexible integrated devices

研究代表者

酒池 耕平（Sakaïke, Kohei）

広島商船高等専門学校・電子制御工学科・准教授

研究者番号：00740383

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000 円

研究成果の概要（和文）：曲げられるディスプレイや太陽電池に代表されるフレキシブルエレクトロニクスの飛躍的な進歩を実現する為には耐熱性の低いフレキシブル基板上で高品質薄膜材料を形成する必要がある。本研究では、フレキシブル基板上での高品質金属配線及び層間絶縁膜の新規形成法を確立することを目的とした。試作装置を用いて金属薄膜の形成実験を行ったところ、従来の方法に比べ低抵抗薄膜をより短時間で形成できることを確認した。得られた結果から、今後、各種パラメータの最適化を行うことで、既存技術よりも短時間・低温下で高品質金属薄膜が形成できる可能性が示唆されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で実施した新規の低温プロセス技術の構築は、これまでに世界で実施された例はなく、先行研究が存在しない。従って、既存技術では実現できなかった様々なフレキシブルアプリケーションも容易に実現できる可能性を秘めており、フレキシブルエレクトロニクスの飛躍的な進歩が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Flexible electronic devices such as bendable and even rollable displays and solar cells are potentially constructible on flexible substrates, and all over the world research and development efforts are being devoted to high-performance flexible electronics. The purpose of this work is to establish a new low temperature process technology for forming high quality metallic thin film and interlayer dielectric film on flexible substrates. By using the proposed method, it has been confirmed that a metal thin film with low resistivity can be formed in a short time as compared with the conventional method. From these results, it is suggested that high-quality metal thin films can be formed in a shorter time than conventional methods by optimizing the parameters.

研究分野：薄膜材料

キーワード：薄膜材料 フレキシブル レーザアニール

1. 研究開始当初の背景

曲げたり丸めたりすることができるディスプレイや太陽電池に代表されるフレキシブルエレクトロニクスは、基材の柔軟性を生かすことで、新しいエレクトロニクス領域を創成できる可能性を秘めている。これに伴い、フレキシブルエレクトロニクス分野は 2020 年代には数 10 兆円規模の巨大市場にまで成長すると予測されており、高性能・高機能フレキシブルエレクトロニクスの実現に向けて、フレキシブル基板上での高性能電子デバイス形成技術確立に向けた研究開発が世界中で盛んに行われている。

このようなフレキシブルエレクトロニクスの実現に向けて、現在では有機や酸化物半導体を用いた電子デバイスが盛んに研究されている。これら材料は、室温でデバイス作製が可能であり、耐熱温度の低いフレキシブル基板上でのデバイス作製において、極めて重要な半導体材料として位置付けられている。一方、ガラス基板上で実現されている結晶 Si 薄膜電界効果トランジスタ(MOSFET)は、上述の有機や酸化物 MOSFET に比べ、高い電界効果移動度、安定した高い信頼性を持ち、また、有機や酸化物材料では困難とされている相補型金属酸化物半導体(Complementary Metal Oxide Semiconductor : CMOS)を用いた高速駆動集積回路を構成できるなど、非常に多くのメリットを有している。

このような高い性能を有する結晶 Si デバイスをフレキシブル基板上の必要な位置に局所的に形成することが可能となれば、上述した有機や酸化物デバイスとの併用または、融合により集積回路とセンサなどの異種デバイスを一括搭載するシステム集積化技術(ヘテロインテグレーション)の新たな可能性を見出すことができ、より広範なエレクトロニクス領域の創成が可能になると考えられ、フレキシブルエレクトロニクスの飛躍的な進歩が期待できる。

しかしながら、耐熱温度(200 以下)の低いフレキシブル基板上で高温プロセス(300 以上)が必要な結晶 Si MOSFET を実現することは非常に困難とされており、これまでにない新しい技術・手法を確立する必要がある。そこで、この課題を解決する世界に類を見ない日本発の新たなプロセス技術として、「中空構造 Si 膜を用いた低温転写技術」を提案し、本低温転写技術を応用することで、フレキシブル基板の耐熱温度以下に必要な位置に局所的に高性能 Si 電子デバイスが実現可能であることを実証している。これは、対向密着した中空構造 Si 膜と転写先基板との間に水を介在させ、水が蒸発する過程で発生する強いメニスカス力を利用することで、Si 薄膜を転写先フレキシブル基板へ低温転写する方法である。本転写技術を応用することで、フレキシブル基板上に on/off 比 10^8 を超える最大ピーク電界効果移動度 $609\text{cm}^2/\text{Vs}$ を示す高性能結晶 Si MOSFET の作製が可能であることを実証している。本研究では上記の研究実績を基に、デジタル・アナログ回路構成技術を確立するための要素技術の確立に取り組み、上述したシステム集積化技術の実現を目指す。

2. 研究の目的

本研究では、フレキシブル基板上での高品質金属配線及び層間絶縁膜の新規形成法を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

フレキシブル基板上でデジタル・アナログ回路構成を実現する為には、フレキシブル基板の耐熱温度以下で層間絶縁膜を形成する技術確立が必要であり、これには、ポリシラザンを用いることで解決を試みる。ポリシラザンはアミン系触媒を少量添加することで、室温で高純度シリカ膜に転化することが知られており、非真空・室温下で高品質絶縁膜の形成が期待できる。ポリシラザンを用いた絶縁膜の膜厚制御・膜質・電気評価を実施し、これら知見を基に層間絶縁膜の低温形成技術を確立する。また、層間絶縁膜の構造に着目した新規のプロセスを構築し、層間絶縁膜の品質向上を試みる為に、波長 808 nm、45W のレーザ光をレンズで約 $4 \times 1\text{mm}^2$ に集光し試料表面に照射できる装置を製作した。試料はレーザ光の長軸側と垂直になるように走査し、走査速度を変化させることで最適な条件を探る。さらに、レーザ光照射中における膜の

温度変化を実時間観測するために、レーザ光を試料裏面から照射し、反射光をバンドパスフィルターに通してフォトダイオードで受光することにより膜の反射率変化を実時間観測する。また、インクジェット技術を応用した新たな低温プロセス技術を提案すると共に、提案技術を用いて金属薄膜形成を大気圧下で行うことにもチャレンジする。

4．研究成果

本研究では、耐熱性の低いフレキシブル基板上での高品質金属配線及び層間絶縁膜の新規形成法を確立するために、新規プロセスを提案した。提案技術は、既存技術ではない為、装置の設計・試作を自ら行い自作した。

絶縁膜においては、提案した間接加熱法を適用したところ、高品質化できることが確認できた。しかしながら、装置のトラブルにより実時間での温度測定が不十分であり、今後、加熱温度と膜質の相関を取得し走査条件・レーザ出力条件等の最適化を進める予定である。

上記とは異なる試作装置を用いて金属薄膜の形成実験を行ったところ、従来の方法に比べ軽微ながら短時間・低温下で低抵抗薄膜を形成できることが確認できた。得られた結果から、今後、各種パラメータの最適化を行うことで、既存技術よりも短時間・低温下で高品質薄膜が形成できる可能性が示唆されている。

現在、これら技術を用いたフレキシブルデバイス応用に向けて、上記結果を踏まえて、より高品質な薄膜を形成できる条件の最適化及び、評価実験に取り組んでいる。

5．主な発表論文等

特になし

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.hiroshima-cmt.ac.jp/faculty/denshi/009.html>

6．研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。