

令和元年6月18日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14548

研究課題名(和文)超ワイドバンドギャップアモルファス酸化物の開発および光劣化のない半導体素子の開拓

研究課題名(英文) Development of ultra-wide bandgap amorphous oxide semiconductors for photo-stable electronic devices

研究代表者

金正煥(Kim, Junghwan)

東京工業大学・元素戦略研究センター・助教

研究者番号：90780586

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：アモルファス酸化物半導体は様々な利点を持つことからすでにフラットパネルディスプレイの駆動回路のTFTに使われている。また、今後、TFT以外の電子素子としての応用が期待される。しかし、従来のアモルファス酸化物半導体はバンドギャップ内に存在する欠陥準位による光劣化が深刻な問題として指摘されてきた。一方、申請者はこのような問題点を解決するため、超ワイドギャップアモルファス酸化物半導体、Zn-Ga-Oを新たに開発した。その結果、高移動度ながらも光安定性を持つTFTの開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アモルファス酸化物半導体は低温プロセスながらも高い性能を示すため、非常に魅力のある半導体材料である。また、アモルファス酸化物半導体の持つ透明さは透明エレクトロニクスの実現を期待させる。しかし、従来のアモルファス酸化物半導体の持つ光劣化により透明のまま使うことが出来ない。本研究はこのような問題点を解決しており、また、高性能、高安定なアモルファス酸化物半導体の設計指針を提案している。このような結果は今後、透明素子のような次世代エレクトロニクスの開発に繋がると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The transparency of oxide semiconductors is a significant feature that enables the fabrication of fully transparent electronics. Unfortunately, practical transparent electronics using amorphous oxide semiconductors (AOSs) have not yet been realized, owing to significant photo-instabilities of these materials. In this work, we examined the electronic structures of a variety of AOSs and found that their ionization potentials vary greatly, depending upon the specific metal cations. This finding enabled us to increase the optical bandgap by modifying the VBM levels, resulting in a high mobility of 9 cm²/Vs and an ultra-wide bandgap of 3.8 eV for amorphous Zn-Ga-O (a-ZGO).

研究分野：酸化物半導体

キーワード：酸化物TFT アモルファス酸化物半導体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

アモルファス酸化物半導体(AOS)は透明さ、低温プロセス、高移動度、均一性、化学的安定性などと優れた特性を持つことから、現在はディスプレイの薄膜トランジスタ(TFT)として実用化されている。しかし、AOS-TFTの光照射に起因する閾値変化が問題化され、現在は光照射を防ぐための遮光膜が必須である。このような遮光膜の導入は、透明デバイスとしての応用、また、生産コストの削減などを妨げることから、AOSの持つ光劣化の原因や解決法を見出す基礎研究が多くされてきた。しかしながら、これまでの先行研究からAOSの光劣化の原因およびその機構についてはまだ明らかにされていない。

一方で、研究代表者らは従来のAOS、IGZOの価電子帯付近に局在化された電子準位が存在することを明らかにし、この欠陥準位の電子が光に応答することが光劣化の根本的な原因であることを提案した。IGZOの場合、伝導帯から約2.4 eVほど深いところに欠陥準位が確認されており、緑色(約2.35 eV)の可視光にも応答することが示唆される。一方で、研究代表者らは従来のAOSの欠陥研究から得られた知見を用いて、絶縁体として知られていたアモルファスGa₂O₃の半導体化に成功した。また、a-Ga₂O₃はバンドギャップ4.2 eV、電子移動度8 cm²/Vs、そしてキャリア濃度10¹⁵という、超ワイドバンドギャップでありながらも半導体として非常に有望な特性を示していることから、光劣化のないAOS-TFTの開発に望ましいと考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、超ワイドバンドギャップアモルファス酸化物半導体(UWB-AOS)を開発し、従来のAOSの持つ光劣化を解決、遮光膜の要らない透明デバイスを目指すものである。研究代表者らは今までの研究において、AOS中の欠陥を徹底的に調べ、その制御法を工夫することで、絶縁体として知られていたアモルファスGa₂O₃(a-Ga₂O₃)の半導体化に成功した。a-Ga₂O₃のバンドギャップは4.2 eVであり、この値は従来のAOSの3.0 eVをはるかに上回ることから、可視光および近紫外での光感度が極限に小さくなることが示唆される。また、このような特性から従来のAOSデバイスの持つ光劣化現象が解決されることが期待される。

本研究では、新たな超ワイドバンドギャップAOSを探索し、電子構造およびキャリア生成機構を究明することから、さらに高性能な超ワイドバンドギャップAOSを開発する。また、これを用いた光劣化のない光・電子デバイスを開発または開拓する。

3. 研究の方法

上記背景およびこれまでの研究成果を元に、本研究はUWB-AOSの電子構造とキャリア生成機構を明らかにし、新たなUWB-AOSを開発、また電子デバイスへの応用を図る。以下は具体的な研究項目である。

- i) UWB-AOSの電子構造およびキャリア生成機構を究明
- ii) AOSの光劣化の原因を明確に究明する。
- iii) UWB-AOSを用いた新規デバイスの作製

4. 研究成果

本研究は、超ワイドバンドギャップアモルファス酸化物半導体を開発し、従来のアモルファス酸化物半導体の持つ光劣化を解決、遮光膜の要らない透明デバイスを目指すものである。研究代

表者らは今までの研究において、アモルファス酸化物半導体のギャップ内に欠陥準位が存在することを明らかにした。また、この欠陥準位は価電子帯直上に位置するため、バンドギャップよりも小さいエネルギーの光にも応答し、これによって素子の安定性が低下することとの関連性を明らかにした。一方、この欠陥準位はキャリア生成と関連していることから完全に除去することは極めて難しい。そのため、本研究では欠陥準位の除去よりもバンドギャップを広げることで光応答そのものを抑制しまた安定性を向上させることに着目した。しかし、多くのアモルファス酸化物半導体は広いバンドギャップを持つ化学組成ほど移動度が低下するといったトレードオフ関係がみられる。そのため、本研究での最も重要な目標は広いバンドギャップを持ちながらも高い移動度を得ることである。従来のアモルファス酸化物半導体は一般的に伝導帯の電子構造が局在されることによりバンドギャップが広くなり、移動度が小さいといった問題点があった。一方、研究代表者は本研究から伝導帯ではなく価電子帯の電子構造のみを変化させることで高移動度を維持しながらもバンドギャップを広げる指針を得た。特に、Znが価電子帯上端に大きく寄与することがわかり、Znの含有量を減らすことがとても重要であることを明らかにした。その結果、本研究では $9\text{cm}^2/\text{Vs}$ ほどの高移動度を示しながらも光劣化がまったくない高安定酸化物 TFT の開発に成功した。また、アモルファス酸化物半導体を構成する各元素が電子構造にどのように寄与するかを明らかにすることが出来た。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

1. J. Kim*, J. Bang, N. Nakamura, H. Hosono*
“NBIS-free Ultra-Wide Bandgap Amorphous Oxide Semiconductor Thin Film Transistor”
APL Materials, 7 (2019) 022501. (査読あり)
2. J. Kim*, K. Yamamoto, S. Iimura, S.Ueda, H. Hosono*
“Electron Affinity Control of Amorphous Oxide Semiconductors and Its Applicability to Organic Electronics”
Advanced Materials Interfaces, 5 (2018) 1801307. (査読あり)
3. N. Watanabe, K. Ide, J. Kim, T. Katase, H. Hiramatsu, H. Hosono, T. Kamiya*
“Multiple Color Inorganic Thin Film Phosphor, RE Doped Amorphous Gallium Oxide (RE = Rare Earth: Pr, Sm, Tb, and Dy), Deposited at Room Temperature”
Phys. status solidi A, 216 (2019) 1700833. (査読あり)
4. K. Ide*, Y. Futakado, N. Watanabe, J. Kim, T. Katase, H. Hiramatsu, H. Hosono, T. Kamiya
“Transition metal-doped amorphous oxide semiconductor thin-film phosphor, chromium-doped amorphous gallium oxide”
Phys. status solidi A, 216 (2019) 1800198. (査読あり)

〔学会発表〕(計 3 件)

1. Junghwan Kim, Yu-Shien Shiah, Joonho Bang, Katsumi Abe, Hideo Hosono
Stability Issues of High-mobility Oxide TFTs

International Thin-Film Transistor Conference (ITC) 2019 (招待講演)(国際学会)

2. Junghwan Kim, Hideo Hosono

Development of Ultra-Wide Bandgap Amorphous Oxide Semiconductors for Future Electronics

AiMES 2018 (招待講演)(国際学会)

3. Joonho Bang, Satoru Matsuishi, Junghwan Kim, Hideo Hosono

Hydrogen Anion and Subgap States in Amorphous In-Ga-Zn-O Thin Films

International Meeting on Information Display (IMID) 2018 (招待講演)(国際学会)

〔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

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。