

課題番号	GR035
------	-------

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)  
実施状況報告書(平成 24 年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	高速省電力フレキシブル情報端末を実現する酸化物半導体の低温成長と構造制御法の確立
研究機関・部局・職名	東京工業大学・応用セラミックス研究所・教授
氏名	神谷利夫

1. 当該年度の研究目的

平成23年度までに、水素および水を極限まで低減させることの可能な製膜装置を導入するとともに、エリプソメリーその場観察等を利用することにより、熱処理によるアモルファス酸化物半導体(AOS) および薄膜トランジスタ(TFT) の構造・特性がどのように変化するかを明らかにした。

平成24年度には、アモルファス酸化物 TFT の特性に不純物や製膜条件、薄膜成長過程が及ぼす影響を調べる。幅広い温度範囲の熱処理により AOS の電気特性および欠陥構造がどのように変わるかを明らかにするとともに、膜中の水素の効果について調べ、低温熱処理に必要な技術要素を検討し、低温で高品質半導体膜を作製する条件を調べる。TFT 作製の低温化、高性能化のめどがたつたら、高速動作、低電圧動作を実現するデバイス構造を提案し、試作・評価する。p 型 TFT の研究も継続して進める。

2. 研究の実施状況

**「幅広い温度範囲の熱処理による AOS の電気特性および欠陥構造」**

1. 高温で信頼できる Hall 効果データを得る方法を確立し、熱処理中その場測定により、a-IGZO の高温移動度が酸素により生成する散乱中心によって制限されるという知見を得た。
2. 700°C までの高温熱処理を検討し、デバイスシミュレーションを用いることで、価電子帯直上の深い欠陥が 200°C までに大きく低減する一方、浅いドナー準位は 300°C まで徐々に減少し、その後急激に減少することを確認した。

**「膜中水素の効果」**

3. 上記の高温熱処理の結果から、400°C 以上では水素の脱離により欠陥密度が増大し、TFT 特性が劣化することを確認した。この結果、特定の温度で脱離する結合エネルギーを持つ水素が欠陥低減に役立っていることが明らかになった。
4. 一方、200°C の低温乾燥酸素熱処理や、300°C でも湿潤酸素熱処理を施すと、閾値電圧シフトが  $t^{1/4}$  に比例する余計な劣化モードが発生することがわかった。
5. 超高真空製膜装置を使うことにより、不純物水素量を  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  以下に低減することに成功した。この膜は密度が低く、電子を捕獲する欠陥を多く含んでいた。一方、200°C の低温熱処理により特性の良い TFT が得られた。
6. その他、水素は膜構造の緩和を促進するものの、化学結合の不安定化を起こすことがわかった

「低電圧・高速動作 TFT」

7. 5 nm 厚の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ゲート絶縁体、100 nm 程度の短いチャネルの TFT で電界効果移動度 10 cm<sup>2</sup>/Vs、動作電圧 3 V 以下を実現した。

「p 型酸化物 TFT」

8. Cu<sub>2</sub>O TFT のチャネル堆積条件、熱処理条件と TFT 特性の関係を明らかにした。一方で、Cu<sub>2</sub>O 薄膜バルク中（粒界と考えられる）のみならず、表面・界面にも Cu<sup>2+</sup>が生成し特性を劣化させていることを確認した。

9. 高移動度 p 型半導体の候補として、SnO の類似化合物である Sn(S,Se,Te)の検討を開始した。

3. 研究発表等

雑誌論文  計 8 件	(掲載済み一査読有り) 計 7 件 Zewen Xiao, Kay Domen, Toshio Kamiya and Hideo Hosono Apparent high mobility ~30 cm <sup>2</sup> /Vs of amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistor and its origin J. Ceram. Soc. Jpn. 121 [3] (2013) 295-298  Kenji Nomura, Toshio Kamiya, and Hideo Hosono Effects of Diffusion of Hydrogen and Oxygen on Electrical Properties of Amorphous Oxide Semiconductor, In-Ga-Zn-O ECS J. Solid State Sci. Technol. 2 [1] (2013) 5-8  Katsumi Abe, Kenji Nomura, Toshio Kamiya, and Hideo Hosono Optical evidence for quantization in transparent amorphous oxide semiconductor superlattice Phys. Rev. B Rapid Communications 86 [8] (2012) 081202(R)-1 - 4  Keisuke Ide, Kenji Nomura, Hidenori Hiramatsu, Toshio Kamiya, and Hideo Hosono Structural relaxation in amorphous oxide semiconductor J. Appl. Phys. 111 [7] (2012) 073513-1 - 6  Kyeongmi Lee, Kenji Nomura, Hiroshi Yanagi, Toshio Kamiya, Eiji Ikenaga, Takeharu Sugiyama, Keisuke Kobayashi, and Hideo Hosono Band alignment of InGaZnO <sub>4</sub> /Si interface by hard x-ray photoelectron spectroscopy J. Appl. Phys. 112 [3] (2012) 033713-1 - 6  Dong Hee Lee, Kenji Nomura, Toshio Kamiya and Hideo Hosono Metal-Semiconductor Field-Effect Transistor Made Using Amorphous In-Ga-Zn-O Channel and Bottom Pt Schottky Contact Structure at 200° C ECS Solid State Letters 1 [1] (2012) Q8-Q10  Mutsumi Kimura, Takayuki Hasegawa, Keisuke Ide, Kenji Nomura, Toshio Kamiya, Hideo Hosono Maximum applied voltage detector using amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistor exposed to ozone annealing Solid-State Electron. 75 (2012) 74-76  (掲載済み一査読無し) 計 1 件 Toshio Kamiya, Kenji Nomura, Hideo Hosono Present Status, Knowledge and Issues of Oxide Semiconductor Technology Proc. IDW '12 (2012/12/4-7, Kyoto, Japan) (2012) AMD3-1  (未掲載) 計 0 件
-------------------	---

様式19 別紙1

<p>会議発表 計32件</p>	<p>専門家向け 計31件</p> <p>Toshio Kamiya, Kenji Nomura, Hideo Hosono Present Status, Knowledge and Issues of Oxide Semiconductor Technology International Display Workshops (IDW/AD'12) (2012/12/5, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan) (2012) AMD3-1</p> <p>Toshio Kamiya, Kenji Nomura, and Hideo Hosono Electronic structures of impurities in amorphous In-Ga-Zn-O Materials Research Society Fall Meeting &amp; Exhibits (2012/11/25-30, Hynes Convention center, Boston, USA) (2012) Z12.09</p> <p>Takaya Miyase, Kay Domen, Kenji Nomura, Toshio Kamiya and Hideo Hosono Effects of hydrogen in amorphous In-Ga-Zn-O TFTs examined by ultrahigh vacuum sputtering Materials Research Society Fall Meeting &amp; Exhibits (2012/11/25-30, Hynes Convention center, Boston, USA) (2012) Z9.20</p> <p>Hirofumi Fukai, Toshio Sasaki, Hiroshi Kawarada, Kenji Nomura, Toshio Kamiya, and Hideo Hosono Short-Channel a-IGZO Thin Film Transistors with Very Thin Gate Insulator and Self-Alignment Ar plasma Process The 5th International Symposium on Designing, Processing and Properties of Advanced Engineering Materials and The 3rd International Symposium on Advanced Materials Development and Integration of Novel Structural Metallic and Inorganic Materials (ISAEM-2012/AMDI-3) (2012/11/5-8, Toyohashi, Japan) (2012) P7-33</p> <p>Toshio Kamiya, Kenji Nomura and Hideo Hosono Effects of annealing temperature on structure, defects, and stability of amorphous In-Ga-Zn-O The 14th International Workshop on Flexible &amp; Printable Electronics (IWFPE2012) (Muju Resort, Muju-gun, Jeollabuk-do, Korea, 2012/11/14-16) (2012)</p> <p>Toshio Kamiya Characterization of amorphous oxide semiconductor thin films targeted at achieving stable and high-performance TFTs The 14th International Workshop on Flexible &amp; Printable Electronics (IWFPE2012) (Muju Resort, Muju-gun, Jeollabuk-do, Korea, 2012/11/14-16) (2012)</p> <p>Kenji Nomura, Toshio Kamiya, and Hideo Hosono Recent progress in oxide based p-channel TFT and complementary inverter The 12th International Meeting on Information Display (EXCO, Daegu, Korea, August 28-31, 2012) (2012) 56-1</p> <p>Toshio Kamiya, Kenji Nomura, and Hideo Hosono Impurity and Defects in Amorphous In-Ga-Zn-O iMiD 2012 Workshop (KINTEX, Seoul, Korea, October 9, 2012) (2012) W1-4</p> <p>Toshio Kamiya, Kenji Nomura, Hideo Hosono Amorphous oxide technology: What have been clarified, what should be known? 2nd International Symposium on Transparent Conductive Coatings: Solar and Display Applications (ISTC 2012) (Hotel Seoul KyoYuk Munhwa Hoekwan, Seoul, Korea, 2012/10/4-5) (2012) F-1</p> <p>Toshio Kamiya, Kenji Nomura, and Hideo Hosono Amorphous oxide semiconductors: History, present status, and unrevealed secrets International Union of Materials Research Society - International Conference in Asia 2012 (IUMRS-ICA 2012) (Busan, BEXCO, Korea, 2012/8/26-31) (2012) WeD2-1</p> <p>T. Kamiya, K. Nomura, and H. Hosono Origins of TFT characteristics and instability specific to a-IGZO TFT Int. Workshop Organic Electronics (1, Aug, 2012, Kyung Hee Univ., Seoul, Korea) (2012)</p>
----------------------	---

	<p>Fan-Yong Ran, Masataka Taniguti, and Toshio Kamiya          Effect of Mixgas (N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>) Postannealing on Cu<sub>2</sub>O Films and Thin Film Transistors          The 6th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-6, Yokohama, 26-28 June) (2012) 3A-O-05          (実行委員として運営に参画)</p> <p>Hirofumi Fukai, Hiroshi Kawarada, and Toshio Kamiya          Fabrication of Top-Gate Top-Contact a-IGZO Thin Film Transistors and Their Current-Voltage Characteristics          The 6th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-6, Yokohama, 26-28 June) (2012) 3A-O-04          (実行委員として運営に参画)</p> <p>Zewen Xiao, Kenji Nomura, Toshio Kamiya, and Hideo Hosono          Apparent High Mobility ~30 cm<sup>2</sup>/Vs of Amorphous In-Ga-Zn-O Thin-Film Transistor and Its Origin          The 6th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-6, Yokohama, 26-28 June) (2012) 1P-O-P97          (実行委員として運営に参画)</p> <p>Masashi Inoue, Takayuki Hasegawa, Takashi Nakanishi, and Mutsumi Kimura, Kenji Nomura, Toshio Kamiya, Masahiro Hirano, and Hideo Hosono, Takashi Aoki, Kiyoshi Nakamura, and Takeo Kawase          Characteristic Shift of a CTFT Inverter using n-type IGZO and p-type F8T2 TFTs after Temperature and Operation Stresses          The 2012 International Meeting for Future of Electron Devices (IMFED2012) (May 9-11, 2012, Kansai University Centenary Memorial Hall, Osaka, Japan) (2012) PC-01</p> <p>Toshio Kamiya, Hiroshi Yanagi, Yoshitake Toda, and Hideo Hosono          Carrier Injection and Interface Electronic Structures in Oxide Semiconductor Heterojunctions          2012 MRS Spring Meeting &amp; Exhibit (Moscone West Convention Center   Marriott Marquis, San Francisco, USA, April 9-13, 2012) (2012) HH10.2</p> <p>羽入雄一郎, 安部勝美, 堂免 恵, 野村研二, 神谷利夫, 細野秀雄          高温熱処理による In-Ga-Zn-O TFT の特性変化と水素の影響          第 60 回応用物理学会春季学術講演会 (3/27-30, 神奈川工科大学) (2013) 29p-G19-13</p> <p>神谷利夫, 宮瀬貴也, 堂免 恵, 野村研二, 細野秀雄          水素不純物を低減したアモルファス酸化物 a-In-Ga-Zn-O の電気特性と TFT 特性          第 60 回応用物理学会春季学術講演会 (3/27-30, 神奈川工科大学) (2013) 29p-G19-12</p> <p>神谷利夫、野村研二、細野秀雄          IGZO 酸化物半導体トランジスタの電子物性          ゲートスタック研究会 - 材料・プロセス・評価の物理 - 第 18 回研究会 (ニューウェルシティー湯河原, 2013/1/25~26) (2013) 103-106</p> <p>神谷利夫、野村研二、細野秀雄          In-Ga-Zn-O 系薄膜のアニール効果と結晶化のその場観察          学振第 166 委員会 第 58 回研究会 (2013/1/25, アイビーホール青学会館) (2013) I07          (学振第 166 委員会委員長として企画・運営に参画)</p> <p>神谷利夫, 野村研二, 細野秀雄          アモルファス酸化物半導体中の水素と不純物としての酸素          第 51 回セラミックス基礎科学討論会 (仙台, 1/9-1/10) (2013) 2B16          (実行委員として企画・運営に参画)</p> <p>Fan-Yong Ran, Masataka Taniguti, Li-Feng Teng and Toshio Kamiya          Effects of Low Temperature Annealing on Cu<sub>2</sub>O Films and Thin Film Transistors          薄膜材料デバイス研究会 第 9 回研究集会 (2012/11/2,3 なら 100 年会館) (2012) 3P28</p>
--	--

様式19 別紙1

	<p>Zewen Xiao, Junghwan Kim, Toshio Kamiya and Hideo Hosono          Apparent High Mobility ~ 30 cm<sup>2</sup>/Vs of Amorphous In-Ga-Zn-O Thin-Film Transistors and Its origin          薄膜材料デバイス研究会 第9回研究集会 (2012/11/2,3 なら 100 年会館) (2012) 2P27          (組織委員として企画・運営に参画)</p> <p>長谷川 貴之、木村 睦、野村研二、神谷利夫、細野秀雄          高酸素雰囲気中で成膜された <math>\alpha</math>-IGZO 薄膜トランジスタを用いた光照射履歴センサ          薄膜材料デバイス研究会 第9回研究集会 (2012/11/2,3 なら 100 年会館) (2012) 3P30          (組織委員として企画・運営に参画)</p> <p>井上雅志、長谷川貴之、中西孝、木村睦、野村研二、神谷利夫、細野秀雄          酸化物 TFT と有機物 TFT を用いたインバータと NAND 回路の測定と評価          薄膜材料デバイス研究会 第9回研究集会 (2012/11/2,3 なら 100 年会館) (2012) 3P26          (組織委員として企画・運営に参画)</p> <p>谷口 将隆、冉 凡勇、大類 貴俊、神谷 利夫、細野 秀雄          Cu<sub>2</sub>O の光伝導特性          薄膜材料デバイス研究会 第9回研究集会 (2012/11/2,3 なら 100 年会館) (2012) 2P33          (組織委員として企画・運営に参画)</p> <p>堂免 恵、羽生有一郎、安部勝美、神谷利夫、細野秀雄          アモルファス酸化物半導体 <math>\alpha</math>-IGZO TFT の定電圧ストレス試験: アニール温度依存性          薄膜材料デバイス研究会 第9回研究集会 (2012/11/2,3 なら 100 年会館) (2012) 2O04          (組織委員として企画・運営に参画)</p> <p>安部勝美, 野村研二, 神谷利夫, 細野秀雄          アモルファス酸化物半導体超格子をチャネルとする薄膜トランジスタ          第73回応用物理学会学術講演会(9/11-9/14, 愛媛) (2012) 13a-H7-6</p> <p>堂免 恵, 安部勝美, 神谷利夫, 細野秀雄          アモルファス酸化物半導体 <math>\alpha</math>-IGZO TFT の定電流ストレス試験          第73回応用物理学会学術講演会(9/11-9/14, 愛媛) (2012) 12p-PB8-18</p> <p>神谷利夫          酸化物半導体の特徴とディスプレイ関連技術への応用          第8回 SID 日本支部主催サマーセミナー (2012/8/27-28, 三島) (2012)</p> <p>神谷 利夫          アモルファス酸化物 TFT が実用化されるまで          有機エレクトロニクス研究会 (2012/7/6, 化学会館, 東京) (2012)</p> <p>一般向け 計1件          神谷利夫          「ガラス半導体 IGZO」が「超高精細タブレット PC」をつくる          高校生・一般向け公開講演会 (2012/8/9, 東京工業大学大岡山キャンパス)</p>
<p>図書 計2件</p>	<p>Toshi Kamiya and Hideo Hosono          Chap. 13 Amorphous In-Ga-Zn-O thin film transistors: fabrication and properties          Handbook of Zinc Oxide and Related Materials (Taylor &amp; Francis) (2012)</p> <p>野村研二, 神谷利夫, 細野秀雄          第6章: N型 <math>\alpha</math>-In-Ga-Zn-O/P型 c-Si ヘテロ接合型太陽電池の開発          高効率太陽電池(株式会社エヌ・ティー・エス, ISBN:978-4-86469-034-8) (2012) 306-318</p>

様式19 別紙1

産業財産権 出願・取得状 況  計0件	(取得済み) 計0件  (出願中) 計0件
Webページ (URL)	http://www2.khlab.msl.titech.ac.jp/ (2013年2月にスパムメールの送信に使われたため、2013年5月現在休止中)
国民との科 学・技術対話 の実施状況	「ガラス半導体 IGZO」が「超高精細タブレット PC」をつくる 2012年8月9日 東京工業大学大岡山キャンパス(西9号館デジタル多目ホール) 高校生・一般向け公開講演会 参加者 63名
新聞・一般雑 誌等掲載 計0件	
その他	以下の5件の受賞があった。  Toshio Kamiya, Kenji Nomura and Hideo Hosono Present status of amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistors Best Paper Prize, Science and Technology of Advanced Materials (2012)  Fuji FUNABIKI, Toshio KAMIYA and Hideo HOSONO Doping effects in amorphous oxides 2012年度 J. Ceram. Soc. Jpn. 優秀総説賞  Hideo Hosono, Kenji Nomura, Youichi Ogo, Tomoya Uruga, Toshio Kamiya The Most Cited Paper Award Journal of Non-Crystalline Solids (2007-2011) (2012)  堂免 恵、羽生有一郎、安部勝美、神谷利夫、細野秀雄 アモルファス酸化物半導体 a-IGZO TFT の定電圧ストレス試験: アニール温度依存性 薄膜材料デバイス研究会 第9回研究集会 ベストペーパーアワード (2012/11/2-3 なら100年会館) (2012) 2004  Masashi Inoue, Takayuki Hasegawa, Takashi Nakanishi, Mutsumi Kimura, Kenji Nomura, Toshio Kamiya, Hideo Hosono Characteristic Shift of a CTFT Inverter using n-type IGZO and p-type F8T2 TFTs after Temperature and Operation Stresses IMFEDK 2012 Student Paper Award (2012) PC-01

4. その他特記事項

2012年3月に販売の始まった Apple 社 new iPad の液晶ディスプレイの一部に研究代表者らが発明し本プロジェクトの主対象である a-IGZO TFT が実用化されたが、その後、Sharp 社のスマートフォン、タブレット、32型 4K2K 液晶ディスプレイにも採用され、2013年2月には韓国 LG 社より 55型有機 EL TV が発売された。

関連して、2013年1月に、LG 社で関連技術のセミナーに招待された。

実施状況報告書(平成24年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	126,000,000	73,300,000	27,300,000	25,400,000	0
間接経費	37,800,000	21,990,000	8,190,000	7,620,000	0
合計	163,800,000	95,290,000	35,490,000	33,020,000	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を 除く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	7,261,941	27,300,000	4,119	34,566,060	29,451,382	5,114,678	0
間接経費	0	8,190,000	0	8,190,000	8,190,000	0	0
合計	7,261,941	35,490,000	4,119	42,756,060	37,641,382	5,114,678	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	14,946,187	局所加熱型デポジションユニット、実験試薬など
旅費	2,514,053	研究成果発表旅費、学会参加旅費など
謝金・人件費等	10,910,744	博士研究員人件費
その他	1,080,398	学会参加費など
直接経費計	29,451,382	
間接経費計	8,190,000	
合計	37,641,382	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
キャスター付きター ボポンプ	HICUBE80 MVP070-63CF	1	829,500	829,500	2012/4/25	東京工業大学
計算機一式	HPC5000- XS216TS-Silent	1	798,000	798,000	2012/7/2	東京工業大学
局所加熱型デポジ ションユニット	SVC-700T/EB	1	7,654,500	7,654,500	2013/2/28	東京工業大学