

課 題	<b>薄膜トランジスタによる光記録のための磁気光学空間光変調器の研究開発(2年計画の1年目)</b>
研究組織	木村 睦 (理工学部・教授) 研究代表者 齊藤 光徳 (理工学部・教授) 鈴木 洋一 (FDK 株式会社) 梅澤 浩光 (FDK 株式会社・プロジェクトリーダー)

## 1. 研究発表

- (1) Mutsumi Kimura, Sensor Applications of Thin-Film Transistor — Photosensor, Magnetic Sensor, Temperature Sensor and Chemical Sensor —, IMID '09, To be presented
- (2) Mutsumi Kimura, Tomohisa Hachida, Yoshitaka Nishizaki, Takehiko Yamashita, Takehiro Shima, Takeshi Ogura, Yuta Miura, Hayami Hashimoto, Masaaki Hirako, Toshifumi Yamaoka, Satoshi Tani, Yohei Yamaguchi, Yuki Sagawa, Koushi Setsu, Yoshiki Imuro, Kosuke Bundo, Tokihiro Yoshikawa and Tomohiro Tadokoro, Sensor Applications of Thin-Film Devices — Photosensor, Magnetic Sensor, Temperature Sensor and Chemical Sensor —, IDMC・3DSA・Asia Display '09, To be presented
- (3) Mutsumi Kimura, Hitoshi Fukushima, Yuki Sagawa, Koushi Setsu, Hiroyuki Hara, and Satoshi Inoue, An Integrated Potentiostat with an Electrochemical Cell using Thin-Film Transistors, IEEE Trans. Electron Devoces, To be published
- (4) 吉野拓人、原田 聖、木村 睦、多結晶シリコン薄膜トランジスタのトラップ密度の完全抽出、電子情報通信学会論文誌C、出版予定
- (5) Tomohisa Hachida, Takeshi Ogura, Yuta Miura, Yoshitaka Nishizaki, Takehiko Yamashita, Takehiro Shima and Mutsumi Kimura, Color Sensitivity of Thin-Film Phototransistor using Poly-Si film with p/i/n Structure, AM-FPD '09, To be presented
- (6) 八田智久、西崎仁貴、山下毅彦、島 武弘、木村 睦、薄膜デバイスを用いた人工網膜の特性解析、2009年(平成21年)春季 第56回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 No. 3、pp. 1340、2009年3月
- (7) 佐川祐樹、瀬津光司、木村 睦、薄膜トランジスタを用いたポテンシオスタットの開発、2009年(平成21年)春季 第56回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 No. 3、pp. 1337、2009年3月
- (8) 田畑裕貴、笠川知洋、小野寺亮、小嶋明樹、木村 睦、Poly-Si TFT を用いたニューラルネットワークにおけるシナプス TFT の特性変動、2009年(平成21年)春季 第56回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 No. 2、pp. 886、2009年3月
- (9) 笠川知洋、田畑裕貴、小野寺亮、小嶋明樹、木村 睦、Poly-Si TFT によるデバイスレベルのニューラルネットワーク、2009年(平成21年)春季 第56回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 No. 2、pp. 885、2009年3月
- (10) 木村 睦、薄膜トランジスタによる人工網膜とニューラルネットワーク、第12回 NAIST 科学技術セミナー「最先端メディカルフォトンクス」、pp. 11、2008年12月
- (11) Tomohisa Hachida, Yoshitaka Nishizaki, Takehiko Yamashita, Takehiro Shima, Mutsumi Kimura, Hiroyuki Hara and Satoshi Inoue, Artificial Retina using Thin-Film Devices — Grayscale Detectability, Moving-Image Capturing and Color Sensitivity —, Proc. IDW '08, Vol. 3, pp. 1645-1646, Dec. 2008
- (12) Takuto Yoshino, Kiyoshi Harada, Tohru Yasuhara and Mutsumi Kimura, Complete Extraction of Trap Density in Poly-Si TFTs, Proc. IDW '08, Vol. 2, pp. 655-658, Dec. 2008
- (13) Mutsumi Kimura, Potential Barrier and Carrier Transport at Grain Boundary in Poly-Si Thin-Film, Proc. IDW '08, Vol. 2, pp. 651-654, Dec. 2008
- (14) Takashi Nakanishi, Mariko Sakemi, Tomoya Okumura, Yuki Ueda, Mutsumi Kimura, Kenji Nomura, Toshio Kamiya, Hideo Hosono and Takashi Aoki, Characteristic Evaluation of Complementary Inverter using Amorphous Oxide TFT and Polymer Organic TFT、薄膜材料デバイス研究会 第5回研究集会 プロシーディングス、2008年11月

- (15) 中西 孝、酒見真里子、奥村友也、上田勇氣、木村 睦、野村研二、神谷利夫、細野秀雄、青木 敬、アモルファス酸化物 TFT と高分子有機 TFT を用いた CMOS インバータの特性評価、薄膜材料デバイス研究会 第5回研究集会 アブストラクト集、pp. 176-178、2008年11月
- (16) 松木邦晃、中尾博樹、斉藤龍輔、塚本周史、木村 睦、レーザー結晶化の2次元過渡シミュレーション～熱伝導率と基板温度に対する結晶粒径の依存性～、薄膜材料デバイス研究会 第5回研究集会 アブストラクト集、pp. 156-157、2008年11月
- (17) 笠川知洋、田畑裕貴、小野寺亮、小嶋明樹、木村 睦、Poly-Si TFT によるデバイスレベルのニューラルネットワーク、薄膜材料デバイス研究会 第5回研究集会 アブストラクト集、pp. 135-138、2008年11月
- (18) Mutsumi Kimura, Yoshitaka Nishizaki, Takehiko Yamashita, Takehiro Shima and Tomohisa Hachida, Device Characterization of Thin-Film Phototransistors for Photosensor Applications, IEICE Trans. Electron. Vol. E91-C, No. 10, pp. 1557-1563, Oct. 2008
- (19) 鈴木大亮、小池正通、澤村茂樹、加藤正和、木村 睦、TFT-OLED の電流均一化パルス幅階調方式、薄膜材料デバイス研究会 第5回研究集会 アブストラクト集、pp. 139-141、2008年10月
- (20) 瀬津光司、佐川祐樹、木村 睦、福島 均、原 弘幸、井上 聡、薄膜トランジスタをもちいたポテンシオスタットによる電気化学測定、薄膜材料デバイス研究会 第5回研究集会 アブストラクト集、pp. 38-41、2008年10月
- (21) 木村 睦、Poly-Si TFT の結晶粒界の電気特性評価とデバイスシミュレーション、2008年(平成20年)秋季 第69回応用物理学学会学術講演会 講演予稿集 No. 0、pp. 102、2008年9月
- (22) Mami Fujii, Hiroshi Yano, Tomoaki Hatayama, Yukiharu Uraoka, Takashi Fuyuki, Ji Sim Jung, Jang Yeon Kwon, Takashi Nakanishi and Mutsumi Kimura, Degradation in Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO Thin Film Transistors under Constant Voltage Stress, Dig. AM-FPD '08, pp. 295-298, Jul. 2008
- (23) Mutsumi Kimura, Physical Model of Current-Voltage Characteristic for Thin-Film Transistor, Dig. AM-FPD '08, pp. 263-266, Jul. 2008
- (24) Daisuke Suzuki, Masamichi Koike, Shigeki Sawamura, Masakazu Kato and Mutsumi Kimura, Pulse-Width Modulation with Current Uniformization for TFT-OLEDs, Dig. AM-FPD '08, pp. 249-250, Jul. 2008
- (25) Kuniaki Matsuki, Hiroki Nakao, Ryusuke Saito, Shuji Tsukamoto and Mutsumi Kimura, Two-Dimensional Transient Simulation of Laser Crystallization and Grain-Size Dependences on Thermal Conductivity and Substrate Temperature, Dig. AM-FPD '08, pp. 245-246, Jul. 2008
- (26) Mutsumi Kimura, Takehiro Shima, Takehiko Yamashita, Yoshitaka Nishizaki, Hiroyuki Hara and Satoshi Inoue, Evaluation of Thin-Film Photodevices and Application to Artificial Retina, J. SID, Vol. 16, Issue 6, pp. 661-667, June 2008
- (27) Mutsumi Kimura, Daisuke Suzuki, Yuji Hara, Shigeki Sawamura and Masakazu Kato, Pulse-Width Modulation with Current Uniformization for TFT-OLEDs, Dig. SID '08, pp. 1173-1176, May 2008
- (28) Mutsumi Kimura, Yoshitaka Nishizaki, Takehiro Shima and Takehiko Yamashita, Artificial Retina using Thin-Film Devices, Dig. SID '08, pp. 1169-1172, May 2008
- (29) I. Yamada, J. Nishii and M. Saito, Modeling, fabrication, and characterization of tungsten silicide wire-grid polarizer in infrared region, Appl. Opt., Vol. 47, No. 26, pp. 4735-4738, 2008.
- (30) M. Saito, H. Shimatani and H. Naruhashi, Tunable whispering gallery mode emission from a microdroplet in elastomer, Opt. Express, Vol. 16, No. 16, pp. 11915-11919, 2008.
- (31) M. Saito and Y. Takahashi, Photochromism induced by infrared two-photon absorption, Opt. Lett. Vol. 33, No. 15, pp. 1687-1689, 2008.
- (32) M. Saito, K. Yasukawa, T. Umeda and Y. Aoi, Copper nanoparticles fabricated by laser ablation in polysiloxane, Opt. Mater. Vol. 30, pp. 1201-1204, 2008.
- (33) I. Yamada, K. Kintaka, J. Nishii, S. Akioka, Y. Yamagishi and M. Saito, Mid-infrared wire-grid polarizer with silicides, Opt. Lett. Vol. 33, No. 3, pp. 258-260, 2008.
- (34) M. Saito, I. Yamada, T. Mizuta, A. Matsuura, H. Kawashima, A. Sakaki, N. Otsuka, Y. Shindo and T. Kuwabara, Tunable infrared filter made of thin silicon wedges, Infrared Phys. Technol. vol. 51, pp. 236-241, 2008.
- (35) M. Saito, Y. Takahashi, K. Matsuda, M. Yamazaki and N. Sawanobori, Visible light emission and control by infrared-responsive materials, The 6th International Conference on Advanced Optical Materials and Devices (2008, Riga), Abstracts, p. 5.

## 2. 2008年度の研究計画

現在、薄膜トランジスタ(TFT)は、フラットパネルディスプレイやエリアセンサーなどに広く用いられており、また、最近では、より高性能な低温多結晶シリコン薄膜トランジスタ(poly-Si TFT)の研究開発がさかんで、システムオンパネル(SOP)を実現する新規機能デバイスとして期待されている。さらに、将来は、高性能・高集積性・基板自由度・高生産性・低環境負荷・低コストなどといった特長を生かして、これからのエレクトロニクスの一躍を担う革新的電子デバイスのひとつとして囑望されている<sup>1)</sup>。

一方、光記録は、従来は、既存のCDやDVDのような、単一記録方式であった(図1)。しかしながら、最近では、大容量化と高速化の要請から、並列記録方式が注目されつつある(図2)。並列記録方式には、空間光変調器(MOSLM)が必要とされる。MOSLMとは、マトリクス状の画素に配置した光変調素子を、各々別個の駆動素子で制御するものである<sup>2)</sup>。光変調素子としては、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)の逆圧電効果とイットリウム鉄ガーネット(YIG)の磁歪効果とファラデー効果を利用する素子が開発中である。しかしながら、駆動素子としては、これまで適当な提案がされてこなかった。

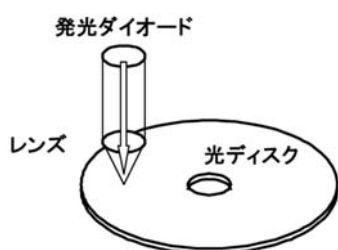


図1 単一記録方式

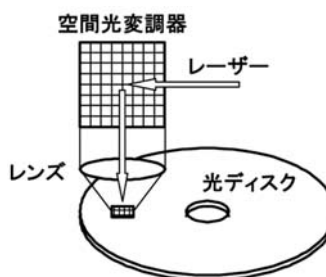


図2 並列記録方式

そこで、本プロジェクトでは、poly-Si TFTによる光記録のためのMOSLMの研究開発を行う。すなわち、マトリクス状の画素に配置した光変調素子を、poly-Si TFTで制御する。Poly-Si TFTの新規アプリケーションの提案であるとともに、光記録のためのMOSLMを実現する有望な研究である。Poly-Si TFTの高性能・高集積性・基板自由度といった特長を生かして、高速で並列記録が可能な駆動素子を、PZT/YIG基板に作製することが可能となる<sup>3-7)</sup>。本プロジェクトの1年目の目標は、poly-Si TFTによるMOSLMの動作原理確認と小規模MOSLMのデバイス試作であり、ほぼ計画どおりに進捗している。最終的な到達目標は、大容量MOSLMの高速並列記録の動作実証さらには商品開発である。

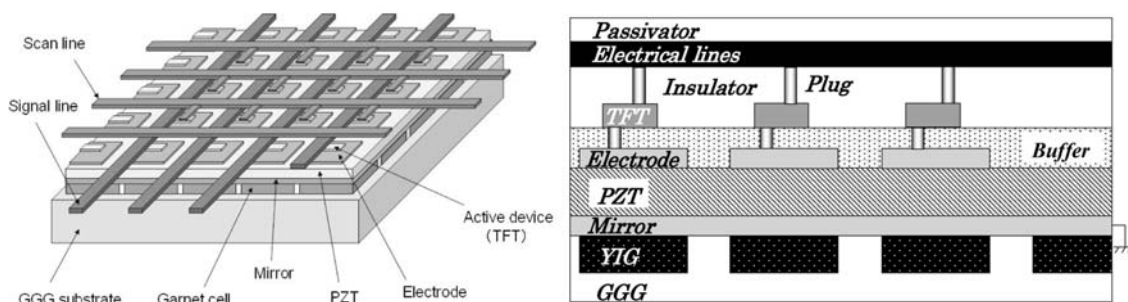


図3 薄膜トランジスタによる磁気光学空間光変調器

- 1) M. Kimura, AM-LCD '05, 323 (2005)
- 2) 藤井 剛、第23回強誘電体応用会議、163 (2006)
- 3) 鈴木洋一、梅澤浩光、木村 睦、薄膜材料デバイス研究会 第4回研究集会、216 (2007)
- 4) 大井秀夫、木村 睦、鈴木洋一、梅澤浩光、電子情報通信学会 技術研究報告 SDM2007-237, 63 (2007)
- 5) Y. Suzuki, H. Umezawa, M. Kimura, IWHM '08, to be presented
- 6) 鈴木洋一、木村 睦、特願2008-158084
- 7) 鈴木洋一、木村 睦、特願2008-158134

### 3. 研究実績の概要(研究経過と成果)

#### [動作原理確認]

本プロジェクトの1年目は、まず、poly-Si TFTによるMOSLMの動作原理確認としては、新規駆動方式を提案し、シミュレーションによる回路設計を行った。さらに、同一基板に集積化したpoly-Si TFTの画素等価回路により、電気的な動作原理確認に成功した(図4・図5)。

すなわち、poly-Si TFTによるアクティブマトリクス回路を構成し、光変調素子をソースフォロアに接続する。走査配線にpoly-Si TFTのオン電位を印加するあいだに、信号配線にアナログ電位を印加し、poly-Si TFTをつうじて光変調素子を制御する。TFT-LCDと類似の駆動方式であるが、PZTの高誘電率に起因して、大負荷容量となる。そこで、poly-Si TFTと1pFの等価容量を接続し、ピコプローブにて過渡応答を測定した。動作速度として100 $\mu$ sが得られ、動作周波数は10kHzにあたり、1000画素のアクティブマトリクス回路では10Mbpsとなる。シミュレーションでは、動作速度として120nsが得られ、動作周波数は8.3MHzにあたり、1000画素では8300Mbpsとなり、ブルーレイディスクの230倍の書込速度となる。これらの相違については解析中である。しかしながら、意図したとおりの電圧波形があらわれており、駆動方式の動作確認に成功したといえる。

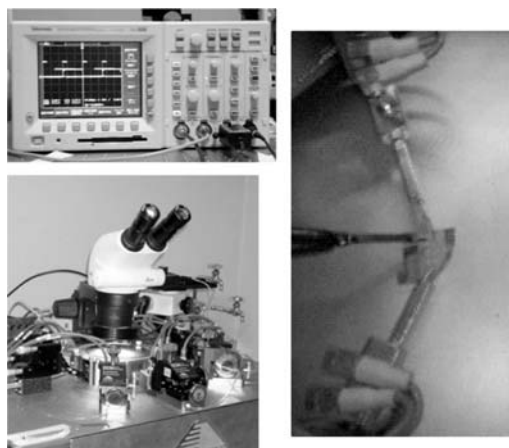


図4 ピコプローブによる過渡応答測定

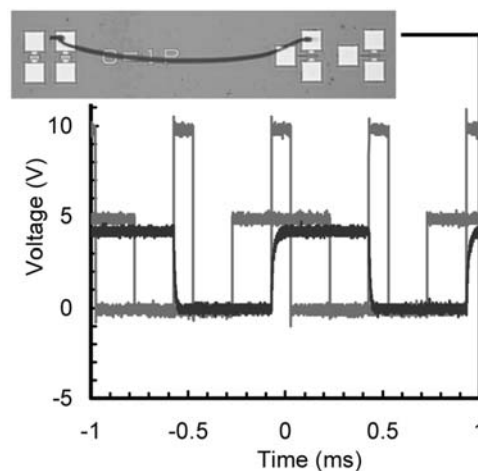


図5 集積化デバイスによる動作原理確認

#### [デバイス試作]

本プロジェクトの1年目は、まず、PZT/YIG基板のうえにpoly-Si TFTを作製する製造プロセスを開発するために、バリア膜の成膜とレーザー結晶化によるpoly-Siの形成を試み、ラマン分光評価(図6)やHall効果測定を行ったところ、まずまずの特性が得られた。しかしながら、SEM観察(図7)を行ったところ、ところどころにポーラス構造がみられ、さらなるプロセスの改善が必要であることが明らかとなった。ただし、トランジスタ特性(図8)としてもまずまずの特性が得られており、早期の特性改善が期待できる。

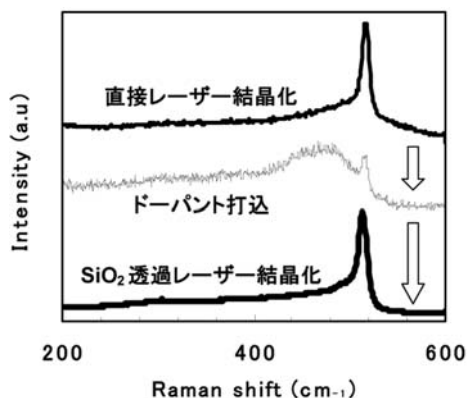


図6 ラマン分光評価

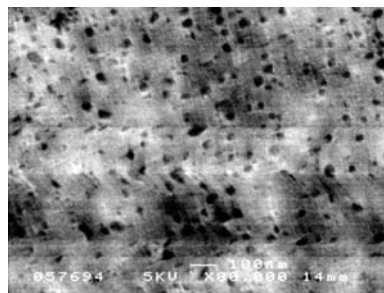


図7 SEM測定

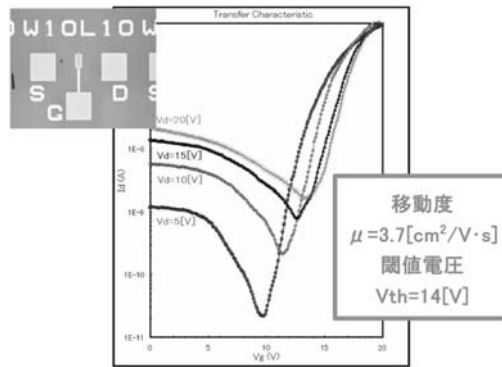


図8 トランジスタ特性

小規模 MOSLM のデバイス試作としては、 $16\mu\text{m}$  ピッチ・ $4\times 4$  画素の Test Element Group (TEG) のフォトマスクを作製し、並行して、トータルプロセスの構築も進行中である(図9)。いまのところ、ガラス基板にはひとつおりの試作に成功しているので、本プロジェクトの2年目は、PZT/YIG 基板のうえに試作する予定である。

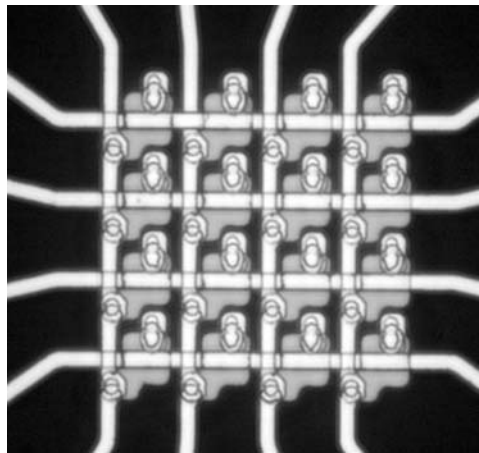


図9 AM-MOSLM

豊橋技術科学大学の井上光輝氏、内田裕久氏、金周映氏、高木宏幸氏、FDK の石川省吾氏、奈良先端科学技術大学院大学の大井秀夫氏、東京農工大学の鮫島俊之氏、北陸先端科学技術大学院大学の堀田将氏、宮崎大学の西岡賢祐氏、龍谷大学の中尾博樹氏、Silvaco International、シルバコ・ジャパン、Cadence Design Systems Inc.、日本ケイデンス・デザイン・システムズ、勝山義樹氏をはじめサイバネットシステム、宗形恒夫氏をはじめジーダットに感謝する。また、本研究の一部は、龍谷大学ハイテクリサーチセンター革新的材料・プロセス研究センター、文部科学省私立大学等研究整備費、龍谷大学理工学部特別研究設備の支援による。