

課 題	低温多結晶シリコン薄膜トランジスタのプロセスシミュレータの開発(2年計画の2年目)
代 表 者	木村 睦 (理工学部・助教授)
研究組織	齊藤 光徳 (理工学部・教授) 井上 聡 (セイコーエプソン株式会社テクノロジープラットフォーム研究所・所長) 蒲原 格 (SIGMA-C 株式会社)

1. 研究発表

- (1) Kiyoshi Harada, Tohru Yasuhara and Mutsumi Kimura, Extraction Technique of Trap Density at Grain boundaries in poly-Si TFTs using Device Simulation, 薄膜材料デバイス研究会 第2回研究集会 プロシーディングス、pp.35-39、2005年11月
- (2) Toshiyuki Sameshima and Mutsumi Kimura, Analysis of Transfer Characteristics at Threshold Voltage for Polycrystalline Silicon Thin Film Transistors, 薄膜材料デバイス研究会 第2回研究集会 プロシーディングス、pp.19-24、2005年11月
- (3) Mutsumi Kimura and Toshiyuki Sameshima, Strict Model of Carrier Density for TFTs and Increasing Rate of Carrier Density at V_{th} , 薄膜材料デバイス研究会 第2回研究集会 プロシーディングス、pp.13-18、2005年11月
- (4) Mutsumi Kimura, Tohru Yasuhara, Kiyoshi Harada, Daisuke Abe, Satoshi Inoue and Tatsuya Shimoda, The study of oxide interface and grain boundary traps in poly-Si TFT characteristics and its application to fabrication process diagnosis, J. SID, Vol.13, Issue 12, pp.1027-1033, 2005
- (5) Kiyoshi Harada, Tohru Yasuhara and Mutsumi Kimura, Extraction Technique of Trap Density at Grain Boundaries in poly-Si TFTs - Extraction Algorithm using Device Simulator and Extraction Results -, Proc. ITC '06 pp.74-77, Jan. 2006
- (6) Mutsumi Kimura, Ryusuke Saito, Shuji Tsukamoto, Yasushi Hiroshima, Satoshi Inoue, Tatsuya Shimoda and Ryoichi Ishihara, Process Simulation of Laser Crystallization and Analysis of Crystallization Process of Si films, Proc. IDW '05, pp.977-80, Dec. 2005
- (7) 鮫島俊之、木村 睦、TFTの閾値解析、薄膜材料デバイス研究会 第2回研究集会 アブストラクト集、pp. 88、2005年11月
- (8) 原田 聖、安原 徹、木村 睦、薄膜トランジスタの結晶粒界のトラップ密度の抽出方法の開発、薄膜材料デバイス研究会 第2回研究集会 アブストラクト集、pp.85、2005年11月
- (9) 木村 睦、鮫島俊之、TFTのキャリア密度の厳密解と V_{th} についての考察、薄膜材料デバイス研究会 第2回研究集会 アブストラクト集、pp.83、2005年11月
- (10) 塚本周史、斎藤龍輔、木村 睦、広島 安、井上 聡、下田達也、石原良一、レーザー結晶化のプロセスシミュレータの作製と poly-Si 薄膜の結晶化過程の解析、薄膜材料デバイス研究会 第2回研究集会 アブストラクト集、pp.54、2005年11月
- (11) Mutsumi Kimura, Kazuyuki Miyashita, Satoshi Inoue and Tatsuya Shimoda, Temperature Dependence of Electric Conductance in Poly-Si Thin Films and Determination of the Effective Richardson Constant, Dig. AM-LCD '05, pp.257-258, Jul. 2005
- (12) Toshiyuki Sameshima and Mutsumi Kimura, Characterization of Polycrystalline Silicon Thin Film Transistors, Dig. AM-LCD '05, pp.245-248, Jul. 2005
- (13) 吉野拓人、木村 睦、鮫島俊之、ドーピング poly-Si TFT による結晶粒界のトラップ密度の特性解析、2006年(平成18年)春季 第53回応用物理学関係連合講演会 発表予定、2006年3月
- (14) 原田 聖、安原 徹、木村 睦、薄膜トランジスタの結晶粒界のトラップ密度の抽出方法の開発—デバイスシ

- ミュレータによる抽出方法と抽出結果一、電子情報通信学会 技術研究報告、SDM2005-206、pp.29-32、2005年12月
- (15) 鮫島俊之、木村 睦、Poly-Si TFT のしきい値解析、2005年(平成17年)秋季 第66回応用物理学会学術講演会 講演予稿集 No.2、pp.719、2005年9月
 - (16) 木村 睦、鮫島俊之、TFT のキャリア密度についての厳密解と V_{th} についての考察、2005年(平成17年)秋季 第66回応用物理学会学術講演会 講演予稿集 No.2、pp.719、2005年9月
 - (17) 木村 睦、斎藤龍輔、塚本周史、石原良一、レーザー結晶化のプロセスシミュレーションと poly-Si 薄膜の結晶化過程、2005年(平成17年)秋季 第66回応用物理学会学術講演会 講演予稿集 No.2、pp.718、2005年9月
 - (18) M. Saito and T. Kato, "Fast infrared spectrometer for flowing gases by the use of a hollow fiber and a PtSi sensor array", *Infrared Phys. Technol.* (2006), in press.
 - (19) M. Saito and H. Ishiguro, "Anisotropic fluorescence emission of a dye-doped fibre ring that is pumped by a ring laser beam", *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, vol.8, pp.208-213 (2006).
 - (20) M. Saito, S. Matsumoto, and Y. Sawai, "Infrared wavelength tuning by laser irradiation of an ultrathin silicon plate", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.44, no.8, pp. 6092-6094 (2005).
 - (21) I. Yamada, K. Kimura, Y. Yamagishi, and M. Saito, "Electrostatically-tunable infrared filter that uses etched thin Si plates", *Proc. SPIE*, vol.6125 (2006), in press.
 - (22) M. Saito and H. Kondo, "Battery-independent emergency illumination with RGB phosphors", *Proc. IEEE International Carnahan Conference on Security Technology*, pp.222-225 (2005).
 - (23) J. Nishii, C. Se-Weon, H. Hosono, T. Taguchi, N. Nakane, H. Samata, Y. Oshitani, and M. Saito, "UV-induced excess loss of Er- and Si-nanocrystal co-doped silica waveguide for optical amplifier", *Proc. 31st European Conference on Optical Communications*, p.941 (2005).
 - (24) M. Saito, Y. Okubo, and T. Kato, "Fast-response gas analyzer by the use of an infrared hollow fibre", *Proc. SPIE*, vol.5855, pp.920-923 (2005).
 - (25) 押谷祐馬、斉藤光徳、崔世元、細野秀雄、西井準治「Er、Si を共添加した SiO_2 光導波路の光学特性」、日本セラミックス協会ガラス部会フォトニクス分科会(2006.1.30、東京工業大学)講演予稿集、p.25.
 - (26) 押谷祐馬、斉藤光徳、西井準治「Si ナノ粒子と Er^{3+} を共添加した SiO_2 系導波路の作製と評価」、日本光学会年次学術講演会(2005.11.23-25、東京)講演予稿集、p.326、24aB2.
 - (27) 成橋英之、斉藤光徳、「オイル中の Bragg 回折を用いた色素レーザーの発振波長制御」、日本光学会年次学術講演会(2005.11.23-25、東京)講演予稿集、p.112、23aP12.
 - (28) 足立直樹、近藤弘康、斉藤光徳、「非常用無電力照明パネルの発光色制御」、日本分光学会秋季講演会(2005.11.15-16、大阪)講演要旨集、p.50、16a18.
 - (29) 山田逸成、木村和哉、斉藤光徳、「超薄 Si 基板を用いた静電引力式赤外線フィルタの作製」、薄膜材料デバイス研究会(2005.11.4-5、龍谷大学)アブストラクト集、p.101、F-4.
 - (30) 山田逸成、木村和哉、斉藤光徳、「静電引力式赤外用波長可変フィルタの低電圧化」、第66回応用物理学会学術講演会(2005秋、徳島大学)講演予稿集、p.864、11p-ZF-2.
 - (31) 坪倉康裕、斉藤光徳、「ナノホール中のフォトクロミズムに与えるマトリックスの影響」、第66回応用物理学会学術講演会(2005秋、徳島大学)講演予稿集、p.856、7p-ZF-3.

2. 2005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・エリアセンサーなどに広く用いられており、また、最近は、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(図1)。

一方、電子デバイスの研究・開発・設計には、シミュレータ環境が不可欠であるが、従来のバルクシリコントランジスタと異なり、TFT では、満足なシミュレータ環境が整備されていない。これは、製造プロセス・デバイス構造・動作原理・回路構成などが、特有で複雑であることに起因している。特に、プロセスシミュレータについては、ほとんど研究発表もなく、世界的に見ても未着手の分野である。

そこで、本研究では、低温 poly-Si TFT に特有な、レーザー結晶化について、プロセスシミュレータを開発することを目的とする。まず、製造プロセスのモデルを構築し、最終的にはプロセスシミュレータに組み込んでゆくこと

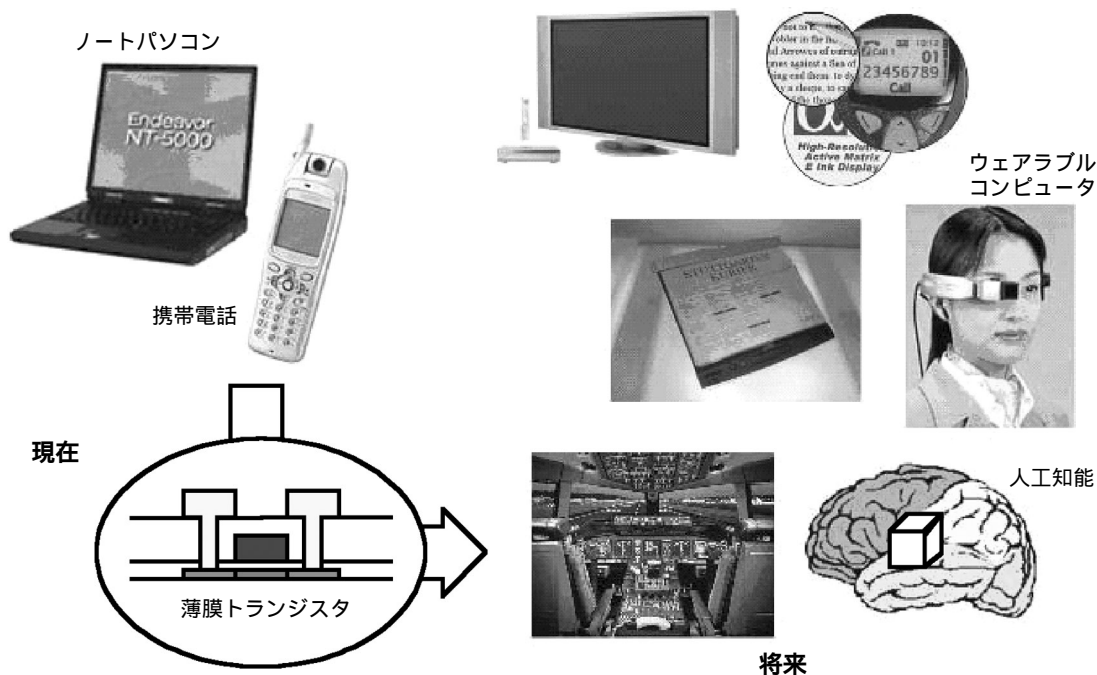


図1 薄膜トランジスタの現在と将来

を目的とする。

プロセスシミュレータの開発には、デバイス試作・構造解析・電気特性解析なども不可欠である。これらの結果を検討しながら、製造プロセスのモデルを構築し、プロセスシミュレータに組み込んでゆく。たとえば、レーザー結晶化は低温 poly-Si TFT に必須の製造プロセスであるが、プロセス条件を変えながら poly-Si 膜質などを評価し、薄膜加熱・熱伝導・結晶核生成・結晶成長をモデル化して、実験結果と比較しながらプロセスシミュレータに組み込んでゆく。

3. 研究実績の概要(研究経過と成果)

本プロジェクトの1年目では、主に、poly-Si 薄膜のデバイス試作・電気特性解析とレーザー結晶化のモデル構築に取り組んだ。まず、プロセス条件を変化させながら poly-Si 薄膜のデバイス試作を行い、必要な解析評価システムを整備し、poly-Si 薄膜の特性解析手法を確立するとともに、実際に poly-Si 薄膜の電気特性解析を行った。具体的には、微量ドーパド poly-Si 薄膜の電気伝導率の温度特性を測定解析することにより、poly-Si 薄膜の詳細な評価が可能であることを明らかにした。そして、レーザー結晶化や水素プラズマ・酸素プラズマ・水蒸気熱雰囲気などの表面改質処理のプロセス条件を変化させながら、この poly-Si 薄膜の電気特性解析を行い、これらの製造プロセスの影響を精査した(図2)。次に、その結果をふまえて、レーザー結晶化モデルの構築に着手した。新規原理・アルゴリズムに基づくモデル構築に挑み、2次元プロセスシミュレータにも組み込み可能なモデルの開発・基礎検討を行い、1次元構造での結晶化の様相をシミュレーション可能であることを確認した。

本プロジェクトの2年目では、温度依存の核生成確率モデル・結晶成長速度モデル・潜熱の吸放熱・部分結晶化モデルなどを考慮した相転移・伝熱計算を統合化し、レーザー結晶化モデルの構築を完了した。そして、1次元構造での結晶化の評価を行い、様々な興味深い現象を解析した(図3・図4)。すなわち、レーザー照射で溶融した poly-Si 薄膜は急激に冷却し、強度の過冷却で核生成がおこる。そのあと潜熱の放出でふたたび触点ちかくまで昇温するので、ほかの核生成は抑制される。膜全体が結晶化すると、また冷却しはじめる。Si の熱伝導率は SiO₂ の10倍以上あるため、膜全体がほぼ等温となる。また、2次元構造での簡易的なシミュレーションを行い、 μ -CZ 法という横方向結晶成長による結晶粒径の定量的評価に成功した(図5)。

今後は、このレーザー結晶化のシミュレータをさらに進化発展させるとともに、様々な研究開発に貢献したいと思う。さらに将来的には、そのほかの製造プロセスである、ゲート絶縁膜の低温形成・プリカーサ非晶質シリコン薄膜の低温形成・ダングリングボンドの終端・ドーパントの低温活性化などについても、同様の開発を行いたい。

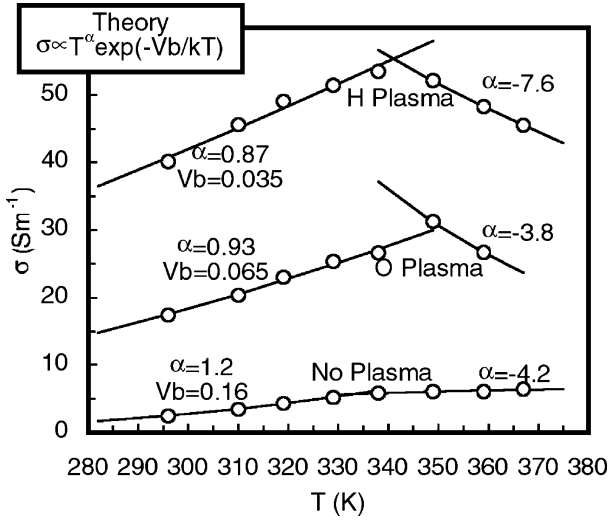


図2 微量ドーパ poly-Si 薄膜の電気伝導率の温度特性

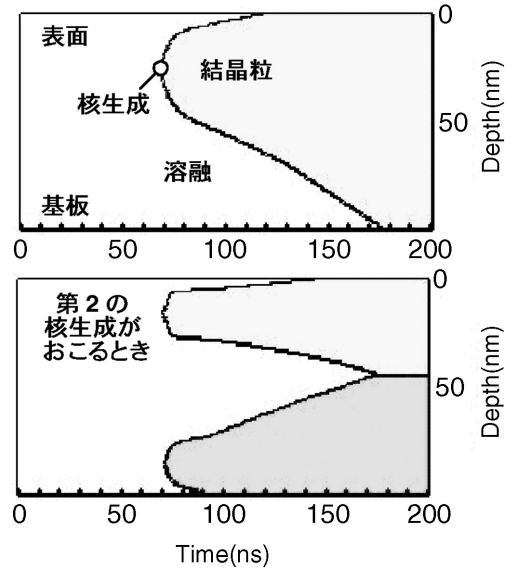


図3 レーザー結晶化のプロセスシミュレーション (相変化)

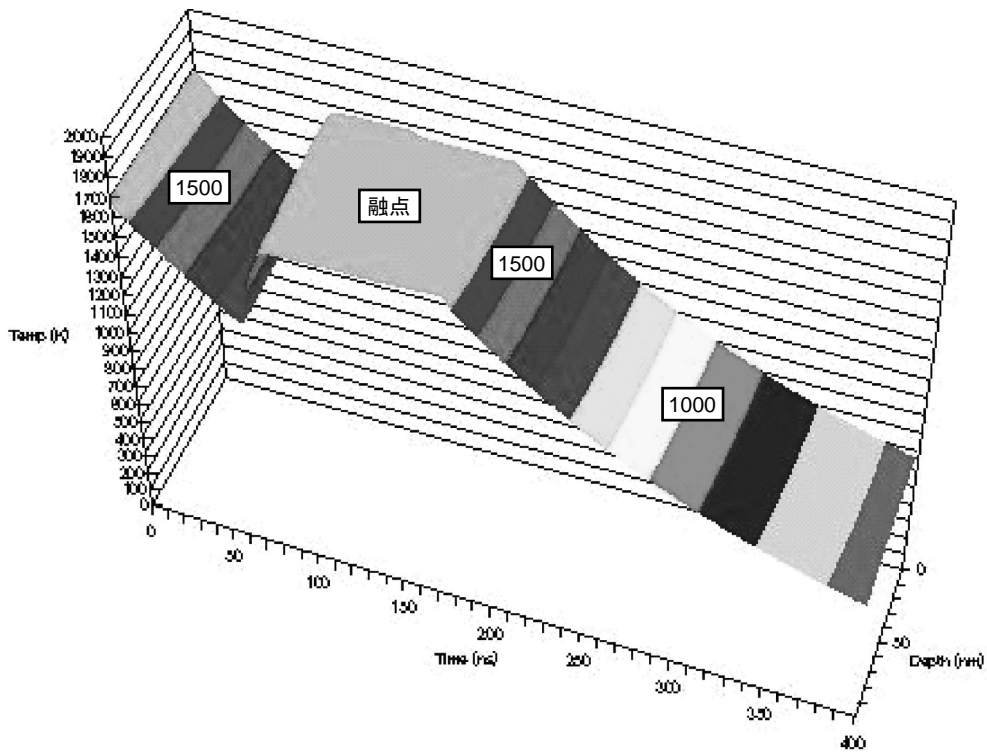


図4 レーザー結晶化のプロセスシミュレーション (温度変化)

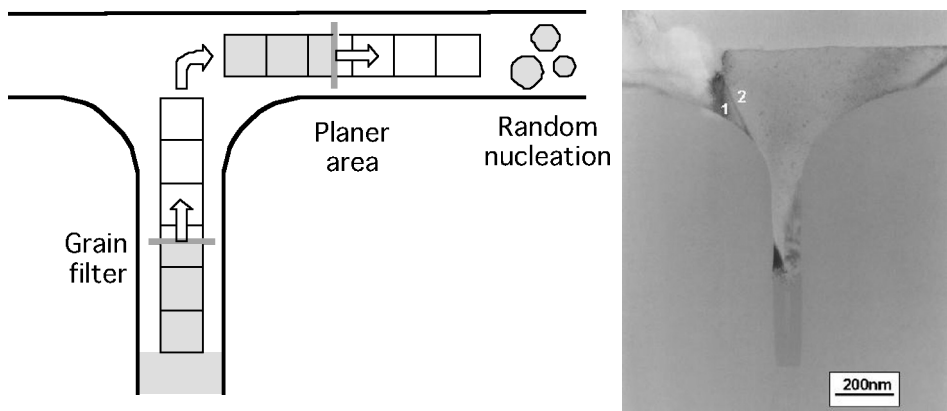


図5 μ-CZ 法のプロセスシミュレーション