

## 薄膜材料デバイス研究会 第 11 回研究集会開催報告

第 11 回実行委員長 黒木伸一郎

### はじめに

薄膜材料デバイス研究会 第 11 回研究集会を、2014 年 10 月 31 日（金）～11 月 1 日（土）の日程で開催しました。今回の研究集会は「薄膜材料デバイスの機能と物理」をテーマとして、薄膜材料の基本に立ち戻りつつ、その応用を広く俯瞰し議論しました。本研究会ではいままで薄膜トランジスタや太陽電池などの研究報告に重きをおいておりましたが、薄膜材料デバイスのより多彩な物理・応用をとりあげ、研究者間の互いの研究交流を図り、その先を目指そうという意識のもと、今回の研究会を開催致しました。

チュートリアルでは、薄膜デバイスの応用として近年注目を集めている、圧電素子、熱電素子を取り上げ、それぞれ神戸大学の神野伊策先生、奈良先端科学技術大学院大学の中村雅一先生にご講演を頂きました。初日の招待講演として、東京大学の鳥海明先生、産総研の右田真司氏から、Si・Ge から二次元材料に至る研究、超微細デバイスのご講演をそれぞれ頂いた。ランプセッションでは東北大学の小柳光正先生に 3 次元集積化、その応用の視覚デバイスのご講演を頂いた。2 日目の招待講演としては、NHK 技研の藤崎好英氏から、有機 TFT アレイとディスプレイ駆動に関するご講演、ソニー株式会社の西山優範氏からは有機 EL 駆動向け自己整合型トップゲート酸化物 TFT に関するご講演を頂いた。

一般講演としては、今回 42 件の発表があった（内 28 件はポスター発表）。口頭発表、ポスター発表ともに活発な議論が相次ぎ、特に分野を越えた研究者間の議論が目立った。本研究会の目的の一つである、研究者間の互いの研究交流を図ることができたと思われる。一般講演の中から特に優れた発表に対して、ベストペーパーアワード、学生奨励アワード 2 件が選ばれた。アワード受賞者は全ての参加者の投票により決定され、アワード授与式を閉会式にとり行った。

薄膜材料デバイス研究会では、今回 11 回大会を迎えるにあたり、研究会フェロー表彰を導入した。本会における継続的な活動を通じて、薄膜材料・デバイスの発展に顕著な業績をあげ、かつ本研究会に対し継続的な貢献が認められる研究者に、フェローの称号を授与し、その功績を称えることを目的としている。フェロー表彰選考委員会での候補者選出・審査のもと、本研究集会にて、東京農工大学の鮫島俊之先生に授与された。鮫島先生は薄膜材料・デバイスの顕著な業績はもちろん、本研究会立ち上げから継続して研究会へのご貢献を頂いております。

今回の研究会では、(公)村田学術振興財団から助成を頂いた。また 13 社の協賛企業からも多大なご支援を頂いた。この場をもって御礼申し上げます。



## チュートリアル

研究会初日の朝のチュートリアル講演では、現在エネルギーハーベスティングとして注目される圧電材料と熱電変換の現状と研究の最新トピックについて2件の講演が行われた。1件目は神戸大学の神野伊策先生より、「圧電薄膜技術と振動発電デバイス応用」という題目でご講演いただいた。圧電材料の分類や基本的性質から、同氏の研究成果である圧電MEMSアクチュエーターや力学センサー、インクジェットヘッドへの応用、MEMS振動発電技術、エネルギーハーベスターとしての応用など最新の技術に至るまで、広範な知識をち密且つ丁寧に解説いただいた。2件目は奈良先端科学技術大学院大学の中村雅一先生より「薄膜デバイス研究者のための熱電変換入門～熱電変換の世界を広げることができるか?～」という題目でエネルギーハーベスティングの説明や熱電変換の基礎、ゼーベック効果の物理から、熱電発電を用いた時計の実用例や同氏の研究成果であるフレキシブル熱電変換素子などの最新技術をご講演いただいた。更に半導体薄膜の研究者から見て熱電材料研究の難しさなど、中村先生の研究経験ならではのお話をお聞かせいただいた。両講演ともこれから圧電素子や熱電変換の研究を始めようとする分野外の研究者・技術者にも解りやすい講演が行われ会場からの質問も多く、非常に盛況なチュートリアルとなった。



チュートリアル講演 左：神野伊策先生(神戸大) 右：中村雅一先生(奈良先端大)

## オーラルセッション1

「薄膜から二次元材料へ」では、まず、招待講演として、東京大学の鳥海明先生から、「トランジスタの薄膜化から二次元材料への期待と課題」と題するご講演を頂いた。Siテクノロジーの権威が語る Ge・グラフェン・MoS<sub>2</sub>技術はたいへん重みのあるものであった。次に、奈良先端科学技術大学院大学の野々口斐之先生から、「塩に誘導されたn型ナノカーボンの調整」と題する講演があった。カーボンナノチューブに塩を作用させることで、大気中で安定なn型導電材料を形成したとの報告であった。ナノカーボンは理論的また材料的な研究が深く掘り下げられているいっぽうで、実用面での開花はこれからであり、そういった側面



鳥海明先生(東京大)による招待講演

から極めて有用な技術発表であったと思われる。最後に、東北学院大学の目黒達也氏から、「スパッタリングにより形成した高誘電率膜をゲート絶縁膜とする CLC 低温 poly-Si TFT」と題する講演があった。スパッタリングにより成膜した  $\text{Al}_2\text{O}_3$  や  $\text{HfO}_2$  をゲート絶縁膜として、半導体励起固体連続波レーザラテル結晶化 (CLC) poly-Si TFT を作製し、S 値 200 mV/dec などという高性能を達成した。この研究室は poly-Si TFT の研究開発について日本最高また世界屈指の成果を誇り、今後のますますの発展を期待したい。

## オーラルセッション 2

Si 系デバイスに関して、招待講演 1 件を含めて 3 件の口頭発表があった。まず招待講演として産総研の右田真司 氏からは、「微細化限界(3 nm)のトランジスタ動作」という題目で将来に向けた微細デバイス開発の話をして頂いた。異方性エッチングにより、SOI 膜にエッチング速度が最も遅い{111}からなる V 溝を形成して、その頂点で 3nm 程度のチャネル領域を形成している。構造はソース、ドレイン部の pn 接合の無い接合レス構造で、動作は反転型ではなく蓄積型であり、チャネルにはソース・ドレイに近い比較的高濃度不純物が存在している。この構造では、チャネル層が薄く、ゲート電圧が強く作用するため、チャネル全体の空乏化により 6 桁以上の電流制御ができる。また、厚さ 8nm では、ゲート電圧制御が十分に現れず、逆に 1nm と薄すぎると厚さのバラツキがそのままリーク電流のバラツキになり、問題になるという。次に、北陸先端大の Mai Lien 氏らは、パルスレーザによる固相結晶化 Si 薄膜の形成について発表した。彼らは、Si 薄膜の結晶性をより上げるために、YSZ (イットリア安定化ジルコニア) による結晶誘発層を Si 膜とガラス基板の間に入れ、YSZ 界面から膜表面へと膜中のランダムな核発生を抑えた一方向の結晶化を試みている。最適照射条件下のビーム固定・試料移動で、試料全面を結晶化させた結果、表面凹凸が従来の熔融結晶化法に比べて極めて少なく、YSZ からの Zr 拡散を抑え、粒径約 200nm と比較的揃った結晶化膜を得ている。最後に、東京農工大の中村らは、太陽電池応用を念頭に、Si 基板のキャリアライフタイムを長くするために、高温水熱処理により形成した酸化 Si 膜で基板表面をパッシベーションするという、簡便で興味ある方法を提案している。加熱温度が 105°C の時、ライフタイムが  $2 \times 10^{-3}$  s と最も高く、それより高い 125°C では、逆にライフタイムが減少するという。また、形成された酸化膜厚は 0.7nm と非常に薄く、高分解能 RBS により測定した酸化膜中の水素濃度が、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  程度と高いと報告している。未処理の自然酸化膜中でも同等な水素濃度であったことから、この効果は必ずしも水素終端によるものとは言えないという。彼らは、本手法の効果は、表面の清浄化による効果が大きいと推測している。



右田真司氏(産総研)による招待講演

## ランプセッション

ランプセッションでは、まず初めに東北大学未来科学技術共同研究センター教授の小柳光正先生より、「三次元スーパーチップ LSI 拠点(GINIT)の世界戦略」というタイトルで1時間のご講演を頂いた。小柳光正先生は日立製作所の中央研究所、ゼロックス社パロアルトリサーチセンターの勤務経験をお持ちで、DRAMの基本構造であるスタックキャパシタ構造の発明者として著名である。また、LSIの教科書も数多く執筆されている。現在も、東北大学で3次元スーパーチップの研究で世界を牽引されている。本講演では、そのコア技術や世界戦略について詳しく説明いただいた。かなり前から、その重要性を認識し特許を取得しており、その先見の明に対し、強い感銘を受けた。また、研究に対する熱意や考え方についてもお話いただき、会場からも、多くの質問が投げかけられ、有意義な時間となった。

引き続き、投稿論文から選ばれた2件のトピックスが発表された。1件目は広島大学から、メニスカス局所転写技術を利用したガラス基板単結晶シリコン薄膜トランジスタの作製についての発表があった。メニスカス力を利用することで、シリコン薄膜に引っ張りひずみを導入し、非常に高い移動度実現したすばらしい研究発表であった。2件目は北海道大学から電解誘起水素化によるVO<sub>2</sub>薄膜トランジスタの金属・絶縁体相制御に関する興味深い発表



小柳光正先生(東北大)による招待講演

があった。室温で、酸化物への水素の脱挿入によるオンデマンド相制御を実現した、将来有望な技術の提案で、会場からも非常に多くの疑問があった。

食事を取りながらのセッションスタイルはすっかり恒例となっているが、リラックスしながらも活発な議論も交わされ、本研究会の特徴ある企画として今回も好評を頂いた。

## オーラルセッション 3

オーラルセッション3「有機材料・デバイス」では、有機トランジスタの表示デバイス応用やプロセス開発、特性改善に関して、1件の招待講演、3件の一般講演が行われた。

招待講演として、NHK技研の藤崎好英氏から「フレキシブル基板上への有機TFTアレイの作製とディスプレイ駆動への応用」と題したご講演を頂いた。有機ELディスプレイを十分に駆動するためには集積化した有機TFT素子で高移動度を達成する必要がある。同氏らは、親水性や疎水性の有機基を含有する塗布型ポリマー絶縁膜を用いて、ラミネーションコート法により可溶性有機半導体を選択塗布することで、パターンニングされた高品位の有機多結晶膜の形成し、移動度1.5 cm<sup>2</sup>/Vs以上(最高2.5 cm<sup>2</sup>/Vs)のチャンネル長5 μmの短チャンネル素子アレイに成功した。また、透過率の高い紙基板として、セルロースナノ

ファイバーから作製した透明紙上への有機 TFT アレイの作製を検討し、プラスチック基板上の素子と遜色のない特性を得ることに成功した。更に、最近のトピックスとして通常と各層の積層順を逆にした逆構造有機 EL の開発についても触れ、有機 EL ディスプレイの動作劣化を抑制できることが示された。

一般講演では、奈良先端大の寺岡拓麻氏から「超高速真空蒸着法による有機薄膜トランジスタの作製」と題するご講演を頂いた。真空蒸着法を用いた有機 TFT 作製の課題となる成膜速度や材料ロスを改善する方法として、キャピラリ構造を有する蒸着セルを用いたペンタセン薄膜の高速蒸着が検討された。成膜速度や開口径に対する分子流密度の角度分布や結晶ドメインサイズやキャリア移動度に関する詳細な検討が行われ、0.25mm 径のキャピラリを用いることで約 30 Å/s の高速蒸着でも標準的なキャリア移動度を達成できることが明らかにされた。次に、千葉大の酒井正俊先生から「超音波溶融によるフレキシブル有機 TFT の作製」と題するご講演を頂いた。同氏らが開発を進めている有機溶剤を用いない溶融法の新たな手法として、超音波溶融による有機 TFT 作製プロセスが提案された。超音波溶融を用いた局所的・瞬間的な加熱によって有機半導体層の溶融塗布が可能となり、他の有機層への熱ダメージを抑制した上で有機 TFT 作製が可能であることが示された。最後に、大阪府立大の中道諒介氏から「短チャネル塗布型トップゲート有機トランジスタの移動度改善」と題するご講演を頂いた。同氏らは実用上重要となるチャネル長 5 μm の短チャネル素子の高移動度化を容易なプロセスで実現することを目標とし、スピコート法を用いた塗布型トップゲート有機 TFT の作製を検討した。その結果、新規塗布型有機半導体および塗布型ポリマー絶縁膜を用いたチャネル長 5 μm の有機 TFT 素子で線形領域と飽和領域で移動度 1 cm<sup>2</sup>/Vs を達成でき、更に 1 万秒での閾値電圧シフト量が 0.25 V の極めて高い動作安定性が実現できることが示された。



藤崎好英氏(NHK 技研)による招待講演

#### オーラルセッション 4

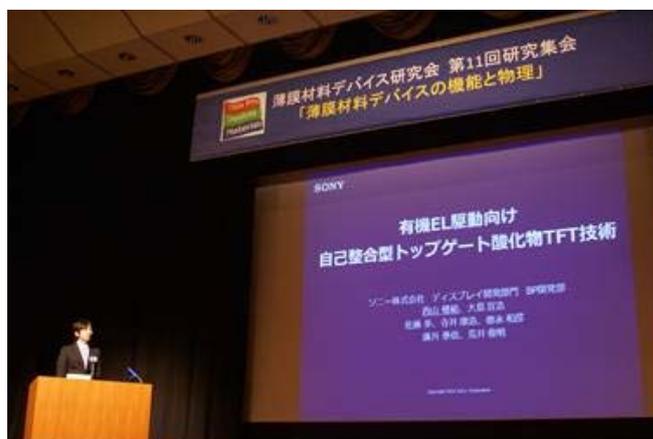
オーラルセッション 4「酸化物材料・デバイス」では、招待講演 1 件を含めて 4 件の口頭発表があった。

招待講演として、ソニー株式会社の西山優範氏からは、「有機 EL 駆動向け自己整合型トップゲート酸化物 TFT 技術」という題目で、有機 EL ディスプレイ駆動用の酸化物 TFT の開発について報告された。有機 EL ディスプレイを駆動させる TFT は、液晶ディスプレイを駆動させる TFT よりも高い信頼性が必要である。現在主に用いられているエッチングストッパー型ボトムゲート構造の TFT は、ゲート電極とソース/ドレイン電極の間の重なり領

域で生じる寄生容量が高精細化やハイフレームレート化に悪影響を及ぼす。西山氏らは、この点に着目し、ゲート電極と同時にソース/ドレイン領域を形成する自己整合型トップゲート酸化物 TFT を開発した。ソース/ドレイン領域の抵抗を低く保つ為に、Al と酸化物半導体の反応を利用した技術：Al メタル反応法を利用された。信頼性の確保のために必要な高温熱処理プロセスと Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 保護膜の形成は、この手法と同時に行える。作製されたチャンネル幅( $W$ )10  $\mu\text{m}$ 、チャンネル長( $L$ ): 4  $\mu\text{m}$  の自己整合型トップゲート酸化物 TFT は、オン/オフ比: 10 桁、 $S$  値: 0.22 V/decade、閾値電圧( $V_{th}$ ): -1.5 V、電界効果移動度( $\mu$ ): 9.8  $\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$  と非常に良好な特性であった。この技術を用いて対角 9.9 型の HD 有機 EL ディスプレイを作製し、その性能を実証された。

一つ目の一般講演では、東工大の Tang らは、真空プロセスで作製した非晶質 IGZO には価電子帯裾準位(サブギャップ準位)があり、この価電子帯裾準位(サブギャップ準位)は、熱処理により改善する事を X 線光電子分光の結果より明らかにした。

二つ目の一般講演では、非晶質 IGZO TFT 特性に悪影響を及ぼす要因の一つに、薄膜中に存在する不純物水素及び弱結合酸素が関係しているのではないかと言うことを、通常のスパッタリング装置と超高真空(UHV)スパッタリングで作製した薄膜を熱処理する際に脱離する成分を評価することにより検討された。



西山優範氏(ソニー株式会社)による招待講演

## オーラルセッション 5

オーラルセッション 5「夢のデバイス」では、3 件の一般口頭発表があった。一つ目の口頭発表はカーボンナノチューブ(CNT)の紡糸と熱電デバイス形成である。予稿集では CNT の紡糸と伝導型制御までの結果しかなかったが、口頭発表では更に CNT 紡糸に pn 接合を形成し、それをシートに縫って熱電シートを作製し、電力の取り出しに成功した。二つ目の口頭発表はイオン性ポリマー中の単層 CNT の分散性向上と増強ゼーベック効果である。4 級アンモニウム塩を含む特定の組み合わせからなるポリマーナノチューブ複合体を形成し、そのゼーベック係数が半導体性 SWNT に匹敵することを示した。最後の講演は薄膜デバイス技術を用いた周波数変調方式人工網膜に関する発表であった。照射照度に対する発信周波数の依存性が確認され、114 Lx の低い照度でも周波数と線形関係にあることを示した。また特定パターンを有する照射照度分布についても人工網膜によってそのパターンが認識されることを示した。更に人工網膜のワイヤレス駆動への試みとして、インダクタカップリング・ダイオードブリッジ・ツェナーダイオードによるワイヤレス電力伝送を成功させた。

## ポスターセッション

ポスターセッションは、研究集会初日の 16:40-18:20、および二日目の 13:50-15:20 に開催された。一般口頭講演者および一部招待講演者を含め、計 46 件のポスター発表がなされた。セッションの冒頭には、ポスター発表のみの講演者による、1 分間のショートプレゼンテーションが行われ、その後、ポスター会場にて活発な議論が行われた。

研究分野として、「有機材料・プロセス・デバイス」、「酸化物材料・プロセス・デバイス」、「無機半導体材料・プロセス・デバイス」という一応の分類を設けたが、複数の分野にまたがり分類が困難な講演も多く見られ、分野にとらわれずに研究が発展している様子が感じられた。材料としては、従来検討されている多結晶シリコンやゲルマニウム、各種有機材料の他、グラフェンや SiC などの IV 族材料、FeS<sub>2</sub> や SnS などの硫化物の研究にも進展が見られた。応用としては、熱電素子や縦型有機薄膜デバイスに関する研究が、特に興味を引いた。



ポスターセッション(右)及び展示(左)

## アワード

研究会一般講演者の中から、次の 3 つ講演がアワードに選ばれた。

### ・ベストペーパーアワード

片瀬 貴義、遠藤 賢司、太田 裕道

北海道大学 電子科学研究所

「電解誘起水素化による VO<sub>2</sub> 薄膜トランジスタの金属-絶縁体相制御」

### ・スチューデントアワード

石川 恭兵、菊池 満帆、平松 秀典、雲見 日出也、細野 秀雄、神谷 利夫

東京工業大学 応用セラミックス研究所

「不純物水素及び弱結合酸素がアモルファス In-Ga-Zn-O 薄膜トランジスタに与える影響」

### ・スチューデントアワード

赤澤 宗樹、酒池 耕平、中村 将吾、平松 和樹、中川 明俊、東 清一郎

広島大学大学院 先端物質科学研究科

「メニスカス力局所転写技術を利用した

ガラス基板上単結晶シリコン薄膜トランジスタの作製」

アワード選定にあたり、研究会全参加者による投票を行い、得票数上位の講演から組織委員の合議によってアワード受賞講演を選定した。

## 研究会助成

今回の研究会では、公益財団法人 村田学術振興財団から研究会助成を頂いた。ご支援に心から感謝申し上げます。

## 展示・広告

展示に 8 社、およびアブストラクト集への広告に 7 社の協賛をいただいた。展示ブースはポスターセッション会場と同じスペースに設営した。ポスターセッションの間だけでなく、昼食・休憩の時間を利用して参加者が展示ブースに立ち寄れるよう配慮した。また本研究会の特徴の一つとして出展社には、セッションの間に製品や業務内容をアピールする 3 分間のコマーシャルタイムが与えられる。発表に興味を持った参加者がブースを訪れる光景を見かけることができた。また研究者のテーマが半導体に限られていることから、対応がしやすかった。装置の組み合わせや精度など深い質問が寄せられ、たいへん勉強になったという声も寄せられた。

なお、展示は、(株)アポロウェブ、キーサイト・テクノロジー合同会社、ケニックス(株)、(株)シルバコ・ジャパン、中古機械買取販売(株)、(株)豊島製作所、ミカサ(株)、(株)リンテックの 8 社より、また広告は、(株)エリオニクス、キーサイト・テクノロジー合同会社、(株)スプリード、(有)デザインシステム、(株)豊島製作所、日本電子(株)、前田印刷(株)の 7 社からいただいた(以上、あいうえお順、敬称略)。関係各位のご協力、ご支援に心より感謝申し上げます。

また上記の会社には、当研究会のホームページから各社のホームページを閲覧することができるようリンクが張られている。ご活用いただければ幸いです。