

薄膜材料デバイス研究会 第12回研究集会開催報告

第12回実行委員長 葉文昌

はじめに

薄膜材料デバイス研究会 第12回研究集会を、2015年10月30日(金)～10月31日(土)の日程で開催しました。今回の研究集会は「IoT時代に向けた新しい薄膜デバイス応用」をテーマとし、薄膜材料デバイスの基礎と応用について、異なる研究分野と機関からの参加者を集めて議論いたしました。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、大面積デバイスがIoT時代では他にない特徴を發揮できると考え、薄膜材料デバイスのさまざまな新しい応用をとりあげてその先を目指すことを促そうと、このようなテーマと致しました。今回は132名の参加者を集めることができました。

チュートリアルでは、薄膜デバイスの応用として、カーエレクトロニクスにおける半導体技術やディスプレイ用駆動回路の現状と研究の最新トピックについて、それぞれ株式会社デンソーの藤本裕様と九州大学の服部励治先生よりご講演をいただきました。初日の招待講演では、SiCパワーデバイス・モジュールの開発とその応用についてロームの中村孝様からご講演をいただきました。ランプセッションではパワー半導体SiCの黎明と発展について、京都大学の松波弘之先生からご講演をいただきました。二日目の招待講演では、薄膜エレクトロニクスの生体医療応用とウェアラブルコンピューティングについて、それぞれ大阪大学の関谷毅先生と神戸大学の塚本昌彦先生よりご講演をいただきました。

一般講演としては、今回51件の発表がありました(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ちました。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ました。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1件と学生アワード2件が選ばれました。

今回の研究会では、公益財団法人 中部電気利用基礎研究振興財団から助成金と、12社の協賛企業からのサポートがありました。この場をもって御礼申し上げます。



会場：龍谷大学 響都ホール 校友会館

チュートリアル

研究会初日の 10 月 30 日（金）朝のチュートリアル講演では、現在カーエレクトロニクスについての半導体技術やディスプレイ用駆動回路の現状と研究の最新トピックについて 2 件の講演が行われました。1 件目は株式会社デンソーの藤本裕様より、「カーエレクトロニクスを牽引する半導体技術」という題目でご講演いただきました。現在の環境問題への対応や自動車用半導体への要求などの最新動向や、車に用いられている圧力センサーやジャイロセンサーなどのセンサー技術や SiC インバーターモジュールの開発事例などカーエレクトロニクスの基礎から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きました。

2 件目は九州大学の服部励治先生より「酸化物 TFT バックプレーン駆動回路（イン・セル化技術と大型化技術）」という題目でご講演いただきました。タッチパネルの薄膜化に向けての動向や自己容量方式と相互容量方式など Apple、LG、Sharp などが実際に採用しているイン・セルタッチパネル技術や LCD、AMOLED に用いられる大型バックプレーンについてなどの最新技術を広範な知識をち密且つ丁寧に解説いただきました。

両講演とも分野外の研究者・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りました。



チュートリアル講演 左：藤本裕様（株）デンソー、右：服部励治先生（九州大）

オーラルセッション1

「IV 族次世代デバイス」では、冒頭に、ロームの中村孝様から、「SiC パワーデバイス・モジュールの開発とその応用」と題する招待講演をいただきました。電圧変換や交流・直流変換を複数回行うことにより、発電電力の半分以上が発熱で失われている現状に対し、SiC デバイスへの置き換えにより、原発数基分に相当する劇的な損失低減を実現できる可能性があることが紹介されました。また、スイッチングロスが小さく、コンデンサなどの周辺機器を小さくできるなどの SiC デバイスの特長が示されました。一方で、SiC の結晶成長が昇華法によって行われている実態などにより、低コスト化が現在の最重要課題であるという現状も強調されました。

次に、広島大学の黒木伸一郎先生から、「4H-SiC MOSFETs による極限環境エレクトロニクスへの展開」と題する講演がありました。バンドギャップが Si よりも大きい 4H-SiC

は、地熱発電応用などで求められる 600 °C 程度の高温環境や原子炉などの高放射能領域においても、キャリア密度などの特性への影響が小さく、より過酷な環境での使用可能性が期待されております。4H-SiC MOSFET の 450 °C までの高温耐性、および 1.13 MGy までのガンマ線照射耐性を検証し、移動度、閾値電圧に大きな変化が無く、安定した動作が可能であることを確認しました。過酷な環境下での、Si デバイスでは実現しえない耐久性が実証され、SiC MOSFET の優位性が明確に示されました。

最後に、東京農工大学の鮫島俊之先生から、「PN 接合の電圧印加による光誘起少数キャリアライフタイム挙動の研究」と題する講演がありました。n 型結晶 Si 基板に対し、表面側に B を、裏面側に P をイオン注入し、炭素粉末で覆って電子レンジで加熱することで注入イオンを活性化し、p+/n/n+構造を形成した後、表裏に電極を形成します。この構造に対して表裏電極間に電圧を印加すると、実効少数キャリア寿命が変化する現象を見出しました。同グループが開発した、マイクロ波の透過率から表面、裏面の再結合寿命を分離して評価する手法を用いて形跡した結果、特に p+層側の表面再結合速度の変化が大きいという興味深い結果が示されました。



中村 孝様（ローム株式会社）による招待講演

オーラルセッション2

オーラルセッション2「機能性材料・デバイス」では、4件の一般講演が行われました。

初めの講演は、産総研および未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合の末森浩司氏による「カーボンナノチューブを用いたユニレグ型フレキシブル熱電変換素子の特性評価」でした。近年排熱されたエネルギーなどを有効活用するエネルギーハーベスティングが注目されておりますが、この研究ではカーボンナノチューブとポリスチレンの複合材料をポリエチレンナフタレートフィルム上にステンシル印刷で形成し、これによりフレキシブルな熱電変換素子を実現しました。約 70°C の温度差で 55 mW/m² の電力が得られ、またこの複合材料のゼーベック係数は 57 μV/K であることなどが報告されました。フレキシブルデバイスという特徴では、曲率半径 5mm 程度まで曲げても電気抵抗値には変化がないことが報告され、微視的には複合材料中に多数の空孔が存在することなどが報告されました。

2つ目の講演は、広島大の中谷太一氏による「アモルファスゲルマニウム細線への大気圧マイクロ熱プラズマジェット照射により作製した薄膜トランジスタの特性評価」でした。石英基板上の a-Ge 膜のマイクロ熱プラズマジェット高速横方向成長 (HSLC) では Ge は凝集を起こします。これを回避するため a-Ge を細線状にし、更に SiO₂ キャップ膜を形成し、これにマイクロ熱プラズマジェットを照射することで、高速横方向成長が実現したことなどが報告されました。試作した結晶化 Ge-p 型 TFT では、電界移動度 197 cm²/Vs、

ON/OFF 比 1.4×10^4 の良好な性能を示したことが報告されました。

3 つ目の講演は、東北学院大の西村勇哉氏による「ガラス基板上の High-k ゲート絶縁膜を用いた自己整合平面型メタルダブルゲートジャンクションレス p-ch 低温 poly-Ge TFT」でした。Ge-TFT において、ダブルゲート構造にすることにより、トップゲート構造に対して ON/OFF 比が大きく改善されることが報告されました。ボトムゲート側のゲート絶縁膜に HfO₂ を使い、トップゲート側では SiO₂ を用いております。poly-Ge は固相成長で形成しておりました。背面露光により、トップゲートを露光パターンニングしており、これにより高い精度の自己整合側ダブルゲート TFT を実現しております。

4 つ目の講演は、九州大の角名陸歩氏による「堆積 Al 薄膜へのレーザー照射による 4H-SiC への Al ドーピング」でした。SiC 上に Al 膜を堆積し、この Al 膜上に KrF レーザー光を照射することで、SiC へ Al 不純物を導入する方法が提案されました。この方法により 10^{21}cm^{-3} 台のアルミ導入ができることが示されました。

ランプセッション

今年のランプセッションは、京都大学名誉教授の松浪弘之先生の招待講演と 2 件の一般講演によって盛況に行われました。松浪先生には、「パワー半導体 SiC の黎明と発展」と題し、SiC 半導体が現在のパワー半導体材料の主役となるまでの歴史や材料研究に伴うご苦労について、裏話を交えながら、丁寧に約 1 時間にわたってご講演いただきました。研究に対する情熱が十分に伝えられました。その後、高知工科大学から酸化物半導体 IGZO の薄膜形成と素子応用に関する興味深い発表と、千葉大学から電子写真技術によるフレキシブル有機素子の印刷技術の発表が行われ、時間ぎりぎりまで熱心な議論が行われました。



松浪弘之先生(京都大)によるランプセッション特別招待講演

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生体医療応用に関して 1 件の招待講演と、3 件の一般講演が行われました。

招待講演として、大阪大学の関谷毅先生から「薄膜エレクトロニクスの生体医療応用に関する研究開発」と題したご講演をいただきました。有機トランジスタの高い柔軟性、大面積展開可能、印刷製造可能といった特徴を生かした数々の応用例が示されました。中でも、額に貼る低価格で実現可能な有機トランジスタを増幅回路に利用した脳波センサマト

リックスは非常に印象的でありました。

一般講演では、先ず、神戸大学の木谷朝陽氏から「酸素プラズマ処理による DNTT トランジスタの閾値電圧制御」と題するご講演をいただきました。絶縁膜表面に酸素プラズマ処理を施すことにより、その処理時間やプラズマパワーに応じて DNTT トランジスタの閾値電圧がシフトすることが示されました。次に京都大学の筒井祐介氏から「マイクロ波伝導度測定法による Π 拡張チエノアセンの電荷輸送特性評価」と題してご講演をいただきました。マイクロ波伝導度測定法は、トランジスタのように電極構造を必要とせず、材料本来の電荷輸送を評価できることが特徴であります。講演では、新規チエノアセン化合物についてマイクロ波伝導度測定法で評価した移動度について示されました。2つの BBTBDT 誘導体について調べたところ、直線的な BBTBDT 誘導体では $4.5\text{cm}^2/\text{Vs}$ と高い移動度が得られることが示されました。最後に大阪府立大学の高木謙一郎氏から「インピーダンス分光を用いた有機半導体デバイスの電荷寿命評価」と題してご講演をいただきました。解析手法として単電荷注入空間電荷制限ダイオードの微小交流信号に対する複素インピーダンスの解を使用している点がこの手法の特徴であることが述べられました。この手法により有機 EL 素子のホール輸送とした使用される α -NPD について解析し、電荷寿命が示されました。結果と有機デバイスの薄膜材料について電荷寿命が簡便に評価できるとまとめられました。



関谷 毅先生(大阪大)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、4件の一般講演による口頭発表がありました。

一つ目の一般講演では、東工大の Kim らによって、非晶質の酸化ガリウム(α - Ga_2O_3)の半導体特性に関する報告が行われました。 α - Ga_2O_3 は、パルスレーザーデポジション(PLD)にて作製。 α - Ga_2O_3 薄膜の作製において、基板間距離を変えることにより導電性が変化している事を発見、ターゲット基板間距離が近いときは成膜速度の増加と共に膜密度の向上が判明、作製した薄膜密度が、 5.25 g/cm^3 以上になったとき導電性を得られる事を解明しました。また、この時 α - Ga_2O_3 薄膜は、透過・反射から算出したバンドギャップは 4.15 eV で、移動度は $8\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、電子密度は 10^{14} cm^{-3} であるという報告がされました。まだ導電メカニズムについて不明ですが、成膜レートが遅い場合、膜内に不純物などが取り込まれ密度が減少し、特性が悪化しているのではないかという報告がされました。

二つ目の一般講演では、高知工科大学の是友らによって、エッチストーパー(ES)型 IGZO

薄膜トランジスタ作製時のソースドレイン電極ドライエッチング(S/D-D/E)プロセスダメージが TFT 特性、特に電界効果移動度に及ぼす影響について報告されました。ES 膜厚が不十分な場合、移動度が增大する現象が確認されました。実験およびシミュレーションにより、S/D-D/E プロセスダメージが ES 膜を介してバックチャネル側半導体層に高キャリア濃度領域を形成し、実効チャンネル長の減少が起こることを明らかにされました。

三つ目の一般講演では、日本大学の野らによって、非晶質酸化物半導体 TFT、特に a-IGZO 及び a-ITZO TFT の特性不安定性の要因について報告されました。評価は、NBS(負バイアス不安定性)、IS (照射不安定性)、NBIS(負バイアス照射不安定性)、NBITS(負バイアス照射温度不安定性)等各種ストレス試験を行ったのち、反射光電流一定(CPM) 法を用いて半導体のギャップ内準位の比較がされました。a-IGZO 及び a-ITZO は、両者とも相関があり、1.4-1.7eV、2.4 eV 付近で欠陥準位とみられるものが確認されました。また、バンドギャップ以上の光を照射したときのみ、1.4 eV 付近のサブギャップに関わる吸収の増加が観測され、これが TFT の V_t シフトに影響していると報告されました。

四つ目の一般講演では、龍谷大学の古我らにより、a-IGZO 薄膜に対して電流ストレス実験を行い連続電圧印加が与える影響について報告されました。TFT 特性評価等では一般に界面にホールがトラップされ、特性劣化につながるという報告がされておりますが、薄膜内の酸素欠陥にもホールがトラップされているのではないかという報告がされました。

オーラルセッション 5

「IoT に向けた新デバイス」というセッションタイトルにて、まず、招待講演として、神戸大学の塚本昌彦先生より、「ウェアラブルコンピューティングの現状とこれから」と題してご講演をいただきました。塚本先生は 10 年以上も前から、ご自身も常にウェアラブルデバイスを身につけた出で立ちで、この分野の発展を鼓舞し続けていらっしゃる方でありませう。いよいよ時代が追い付いてきた感があり、このタイミングでのこの講演は、まさに適時でありました。

そのあと、投稿講演として、神戸大学の森本勝大氏より、「耐熱性ポリ尿素を用いた薄膜作製と電気特性評価および焦電型赤外線センサ応用」と題してご講演をいただきました。本研究会の参加者には、焦電効果についてはじめて知った方も多かったのではないのでしょうか。そのさらに赤外線センサ応用ということで、知識を広げるのに役立ちました。

最後に、やはり投稿講演として、東北学院大学の澤弘樹氏より、「ガラス上の自己整合四端子平面型メタルダブルゲート低温 CLC poly-Si TFT の制御性」と題してご講演をいただきました。この研究室は



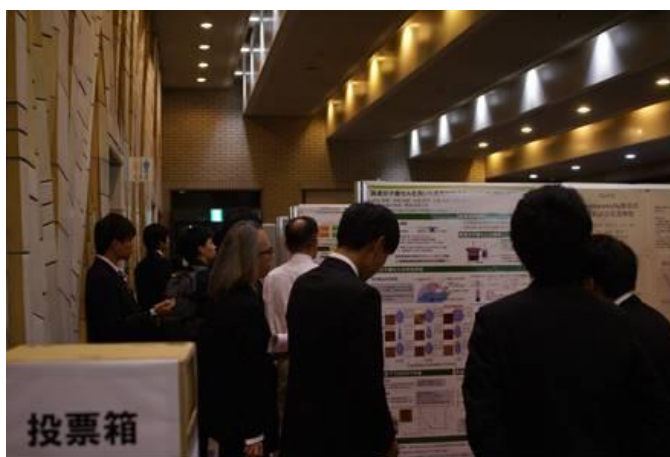
塚本昌彦先生(神戸大)による招待講演

大学としては屈指の低温 poly-Si TFT の実際の作製技術をもっており、今回もそれにたがわぬ完成度の高い発表でありました。

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 13:40-15:20 に開催されました。一般口頭講演者および一部招待講演者を含め、計 48 件のポスター発表がなされました。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ました。

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」という分類を設けましたが、複数の分野にまたがる講演も多く見られ、多様な研究の動向が感じられました。材料としては、多結晶シリコンやゲルマニウム、IGZO を始めとする酸化物材料、有機材料の他、グラフェン・ナノチューブや SiC などの IV 族材料の研究にも進展が見られました。



ポスターセッションの様子

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ました。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ました。

- ・ベストペーパーアワード

是友大地、戸田達也、古田守

高知工科大学

「In-Ga-Zn-O 薄膜トランジスタにおけるソース・ドレイン電極エッチングダメージが電界効果移動度に及ぼす影響」。

- ・スチューデントアワード

Junghwan Kim、関谷拓実、渡邊脩人、井手啓介、平松秀典、細野秀雄、神谷利夫 東京工業大学

「超ワイドギャップアモルファス半導体: a-Ga₂O₃」。



アワード表彰式の様子

・ スチューデントアワード

戸田 達也、古田 守 高知工科大学

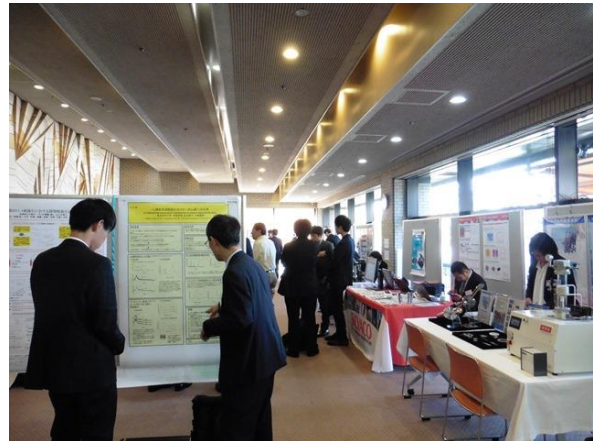
「水素導入 DC マグネトロンスパッタによる InGaZnO 薄膜の成膜と薄膜トランジスタ応用」。

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 社の協賛をいただきました。展示ブースはポスターセッション会場に併設され、ポスターセッション中や休憩時間を中心に、多くの参加者が訪問していました。出展社には、セッションの間に製品や業務内容を紹介する 3 分間のコマースタイムが与えられ、希望のあった 2 社からプレゼンが行われました。ブースでは、各社のデモ製品やサービス内容が展示され、装置導入などについて、参加者が具体的な相談を行う姿も見られました。

なお、展示は、(株)アポロウエーブ、ケニックス(株)、(財)材料科学技術振興財団、(株)シルバコ・ジャパン、中古機械買取販売(株)、テクノリサーチ(株)、ハイソル(株)、ミカサ(株)の 8 社より、また広告は、キーサイト・テクノロジー合同会社、ケニックス(株)、(財)材料科学技術振興財団、(株)スプリード、日本電子(株)、ハイソル(株)、前田印刷(株)の 7 社からいただきました(以上五十音順、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、研究会ホームページから、上記協賛企業各社のホームページを閲覧することができるようバナー広告が掲載されており、ご覧いただければ幸いです。



企業展示の様子