

合同セッション K  
ワイドギャップ酸化物半導体材料・デバイス

東北大金研 大友 明

本合同セッションは、「酸化亜鉛系機能性材料」として 2004 年秋季から春秋通じて 9 回開催されたが、今回以降 ZnO と応用物理学上の接点が多い材料に募集範囲が広げられ、セッション名を「ワイドギャップ酸化物半導体材料・デバイス」と変えて開催されることになった。従来は複数のセッションで議論されてきた同材料・デバイスに関する講演が一つのセッションに集まることで、それぞれの特徴を活かした応用展開や結晶成長・物性の材料横断的な理解につながるものと期待される。全日程にわたって奨励賞受賞記念講演 1 件を含む一般講演 109 件、関連シンポジウム「ワイドギャップ酸化物半導体の進展と今後の展望」の講演 10 件があった。今回の企画は講演件数の急激な増加につながり(図 1)、最終日は二会場に分かれて行われた。材料別にみると ZnO 関連が全講演件数の 8 割を占め、 $Ga_2O_3$ 、 $In_2O_3$ 、アモルファス In-Ga-Zn-O (a-IGZO)、そのほか( $SnO_2$ 、 $TiO_2$ 、 $SrTiO_3$ 、 $NiO$ )に関する講演がそれぞれ 6 件前後あった(図 2)。

シンポジウム講演では最新の情報が概観できるとあって 300 名近い聴講者が訪れた(図 3)。従来から本セッションで議論されてきた ZnO や a-IGZO のハイライト(東北大、東工大、産総研、スタンレー電気、高知工大、東大)に加えて、アナターゼ型  $TiO_2$  透明導電膜の特性(東大)および  $Ga_2O_3$  (・および・型)を用いた深紫外デバイスの特性(京大)が示され、ともに将来有望な実用材料であることを印象付けた。また、有機エレクトロニクスにおける透明酸化物電極の仕事関数や界面電気二重層の評価法ならびに制御法が詳しく紹介された(千葉大)。さらに、透明導電膜産業で重要となる反応性スパッタ法に有効な制御プロセスとそれを用いた高速製膜の実証が報告された(青学大)。各講演では、それぞれのワイドギャップ酸化物半導体(WOS)が今後どのように使われていくのか、また現状の問題点はなにかということについて明確な導入と最近の研究成果が示された。好適と考えられている材料-デバイスの組み合わせを現在の課題や問題点とともに表 1 にまとめる。

古くから研究されてきた ZnO、 $SnO_2$ 、 $In_2O_3$  は、御三家と呼べる材料で室温における単結晶の移動度は約  $200 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  と WOS の中では群を抜いている。これらに  $Ga_2O_3$  を加えた WOS は、典型金属酸化物であり共通点が多い材料であるが、遷移金属酸化物である  $TiO_2$  はこれらとは異なる電子構造や化学的性質を有し元来低移動度の WOS である。電子ドーピングしたアナターゼ型  $TiO_2$  では高いキャリア濃度が低い移動度を補うとともに高屈折率に起因して可視光透過性が高いことが透

明導電膜応用に魅力的な特徴となっている（東大）。一方，大面積・フレキシブル透明エレクトロニクスに向けて好適な材料がアモルファス状態でも高い移動度を保持する a-IGZO であり，TFT に絞った実用デバイスの開発が進んでいる。poly-Si で用いられているエキシマレーザアニールを a-IGZO に適用しプラスチック基板にダメージを与えずに TFT 特性向上が可能であることが示された（TRADIM）。また，抵抗コスト化に向けてウェットプロセスのみで従来の真空プロセスと遜色のない TFT 特性が実現されている（ブラザー工業）。

今回深紫外域にバンドギャップを有する  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  に関するデバイスと結晶成長の報告が目をつけた。・ $\text{Ga}_2\text{O}_3$  単結晶（日本軽金属製）を用いて作製されたショットキー接合は，自然光に対する感度がなく良好な炎センサーとして動作すること（京大），400 の高温までダイオード特性を示すこと（石巻専修大）が報告された。また  $\text{Al}_2\text{O}_3$  との混晶で Al 組成 60%程度まで・型構造を保持できること，・ $\text{Al}_2\text{O}_3$  基板を用いると結晶性の優れた・型準安定相が得られバリエーションが豊富な・型金属酸化物との混晶薄膜成長も可能であることが示唆され（ともに京大），今後広い波長領域に及ぶさまざまな光・電子デバイス応用が期待される。

$\text{In}_2\text{O}_3$  についてはすでに産総研が高移動度透明導電膜として応用に道をつけているが，今回単結晶薄膜で高移動度化を狙った研究（東北大）や W 添加によって高い熱安定性を有する TFT に関する報告があった（ブリヂストン）。

ZnO に関しては，従来から行われてきた研究をファインチューニングする試みが主であった。物理学的キーワードでは，励起子ポラリトン発光の観測（東北大），界面スピン軌道相互作用（大阪府大），2DEG 形成機構とバンドプロファイルの解明（産総研），表面蓄積層の存在（物・材機構）などがあげられる。これらの研究基盤になっている ZnO 単結晶基板について，高温熱処理による低 Li 濃度結晶の作製に関する詳細な報告があった（東京電波）。応用の観点では，スパッタ法によるガラス基板上 pH センサーの作製（大工大），ショットキー接合の新たな応用として放射線検出器，ナノワイヤ高感度紫外線センサー（東大）に関する報告があった。また，これまで湿式プロセスによる微細加工が難しかった ZnO 系透明導電膜に対してサイドエッチングが少ない有機酸系エッチング液の開発に関する報告があった（高知工大）。いくつか新たに試みられた p 型ドーピング技術はまだ現状を打破するには至っていない印象が残った。



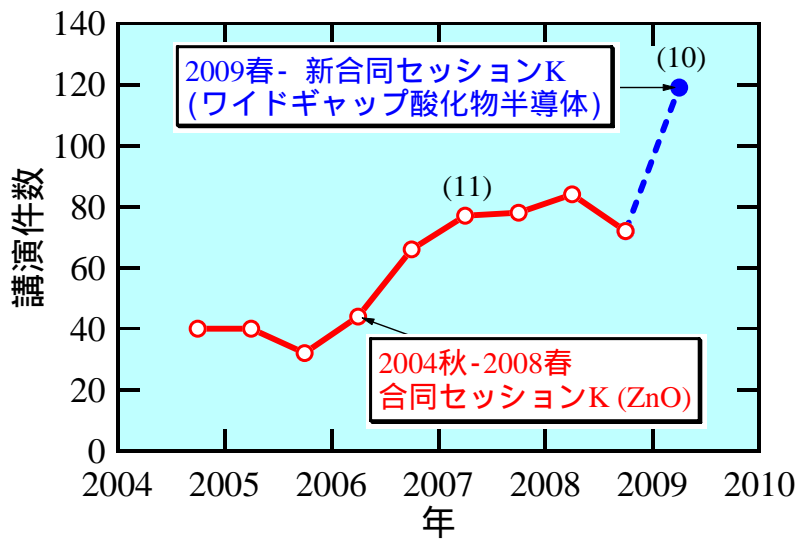


図1. 講演件数（一般講演・奨励賞受賞記念講演・関連シンポジウム講演の合計）の推移．括弧内の数字は関連シンポジウムの講演件数．

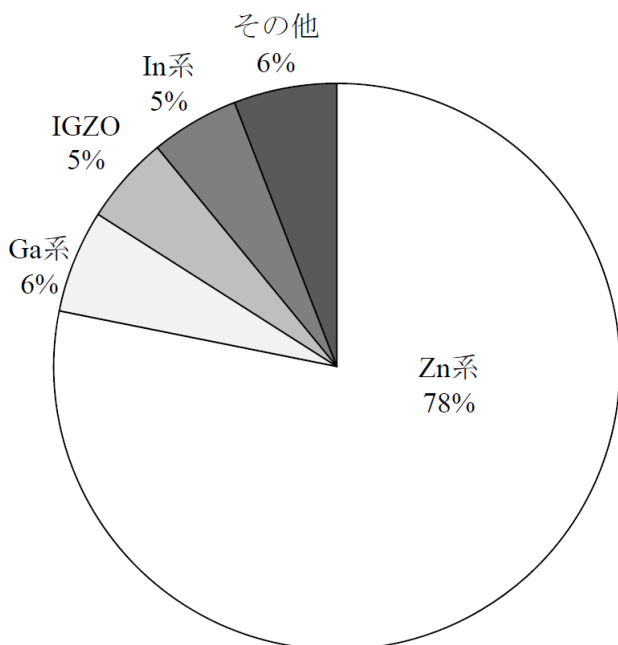


図2. 今回行われた119件の講演における材料別内訳．



図3．セッション初日（3月30日）の講演会場の様子．