

## 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

合同セッションKは、前回の春の講演会から「ワイドギャップ酸化物半導体材料・デバイス」と改名され、酸化亜鉛系材料以外のワイドギャップ酸化物半導体にも募集範囲が広がられた。今回は、奨励賞受賞記念講演1件を含む一般講演74件および関連シンポジウム「社会の持続的発展を目指す酸化物研究開発の現状と未来」ならびに「金属酸化物系材料の新展開 メカニズム解明からデバイス応用まで」の講演3件があった(後者については、該当するシンポジウムの報告書参照)。今回は120件近くあった講演件数は、昨年以前の件数まで減少した(図1)。Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、アモルファス In-Ga-Zn-O (a-IGZO)、TiO<sub>2</sub>に関する講演が前回同様5件前後あったことから、講演件数の減少は主にZnOに関する講演が半減したことに対応している。相対的に非Zn系材料に関する講演件数の割合が前回の22%から7ポイント増加した(図2)。材料毎に整理してみると、現在注力されている材料・デバイスの組み合わせや問題点が表1のようにまとめられる。

本合同セッションの意義のひとつは、材料横断的な視点で結晶成長・デバイス・物性に対する理解を深めることである。

まず「薄膜成長プロセス」に注目すると、今回以下に挙げる新しい方法でその汎用性が示された。ヘリコン波励起プラズマスパッタ法では、プラズマ中の高速粒子のダメージを軽減する目的で半リモートプラズマ源が採用されている。これまでZnO、NiO、TiO<sub>2</sub>などの製膜が試みられてきたが、今回超高真空装置との組み合わせでZnOホモエピ膜の結晶性や発光特性がMBE法と比べて遜色のないレベルに達したという報告があった(東北大多元研)。超音波噴霧ミストCVD法は、超音波槽から供給される霧状の原料を大気中で加熱した基板に堆積する低コスト製膜法として注目されている。高結晶性のZnO系混晶薄膜やGa<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系混晶薄膜が得られることが実証されている。今回、透明導電性高分子であるPEDOT:PSSの製膜やZnOへのドーピング制御が可能であることが報告された(京大工ほか)。

従来の製膜方法でも原料や基板に工夫を凝らすことによって固有の問題を克服できる例がいくつか紹介された。

ハロゲン元素は、すべての酸化物半導体に対してドナーになりえるが、毒性ガスを扱う危険性を伴うためカチオン置換によるドーピングが一般的である。PLD法でフッ化物ターゲット(TiF<sub>3</sub>)を用いると、TiO<sub>2</sub>に高濃度のFがドーピングできることが報告された(東大院理ほか)。スパッタ法などへの適用が期待される。

ガラス基板上に堆積される薄膜の配向性を制御することは全く容易ではない。東大のグループはユニークな方法でこの問題解決を試みた。新しいTCOとして注目されているアナターゼ型TiO<sub>2</sub>の有効質量の異方性に着目し、特殊な方法で作製したナノシートをテンプレートに用いることによって、より高い移動度が得られる配向制御に成功している。この手法は、ナノシート材料を適切に選ぶことによって他の材料にも応用可能であるという。

「デバイス応用」に注目すると、LED、TFT、PDに関する講演があり、今回も特性改善や好適な用途選びについて進展がみられた。LEDではMBE法とZn極性ZnO基板を用いることによって、p-MgZnO/n-ZnO シングルヘテロ接合で従来のEL特性を大幅に改善したというシンポジウム講演があった(ロームほか)。TFTではこれまで通りa-IGZOとZnOに関する講演が続いた。a-IGZOでは実用に向けて明確な指針で特性改善が進められているが(東工大応

セラ研・日大・TRADIM ほか), 一方で非常に遅い光応答特性が実用上問題になる可能性が示唆された. ZnO-TFT を用いた pH センサでは, エッチング耐性の高いゲート絶縁体材料を採用することで安定性が改善できることが報告された(大工大). PD では, UV-C 領域にのみ感度を持つ Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が殺菌灯の常時モニタの長寿命化に有効であるとの提案があった(京大工ほか).

透明導電膜については, Zn 系材料で ITO 置換を目指す目的と太陽電池用途で近赤外領域のウィンドウを広げる目的とに分かれて研究が進められている. 前者の研究では, 基板との間にバッファ層を挿入することにより, GZO, AZO 膜の電気特性を向上させる報告が多くあった(鳥取大・産総研・金沢工大ほか). 特に金沢工大のグループは, アニール後の試料に対してキャリア濃度, 移動度の温度依存性を精密に測定することにより, AZO と GZO の違いを浮き彫りにした. 実用上避けては通れないウエットエッチングに関する検討も進んでいる(高知工大). 太陽電池応用では低キャリア濃度化しても抵抗率を下げないように高移動度化が図られている. 水素添加 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の低温成長や格子歪導入による高移動度化に関する発表があった(産総研・東北大金研).

「物性」については, ZnO/MgZnO ヘテロ界面の分極効果と二次元電子ガスに関して詳細な検討がなされ, バンドプロファイルに対する理解も進んでいる(産総研・大工大). 東北大の研究グループは, 低温で 100,000 cm<sup>2</sup>/Vs を超える移動度を達成し, 電界効果デバイスで分数量子ホール効果を観測することに成功したと発表した. III-V 族と比較しても遜色のない特性であり, 従来から本合同セッションで進められてきた ZnO の高品質化の最終形と言える.

表 1. ワイドギャップ酸化半導体材料・デバイス分野の研究動向 ( : 注力されている, : 特に注力されている ).

材料	デバイス						材料形態					問題点・課題など										
	発光ダイオード	光検出器	薄膜トランジスタ	透明導電膜	各種センサ	環境・エネルギー	バルク	単結晶薄膜	多結晶薄膜	アモルファス薄膜	ナノ粒子・ナノワイヤ	成長プロセス	ドーピング・混晶	欠陥制御	ヘテロ接合	デバイス加工技術	耐環境性	表面化学修飾	基礎物性	光物性	磁性・スピン機能	新機能探索
ZnO																						
・-Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>																						
a-IGZO																						
In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>																						
SnO <sub>2</sub>																						
TiO <sub>2</sub>																						
SrTiO <sub>3</sub>																						

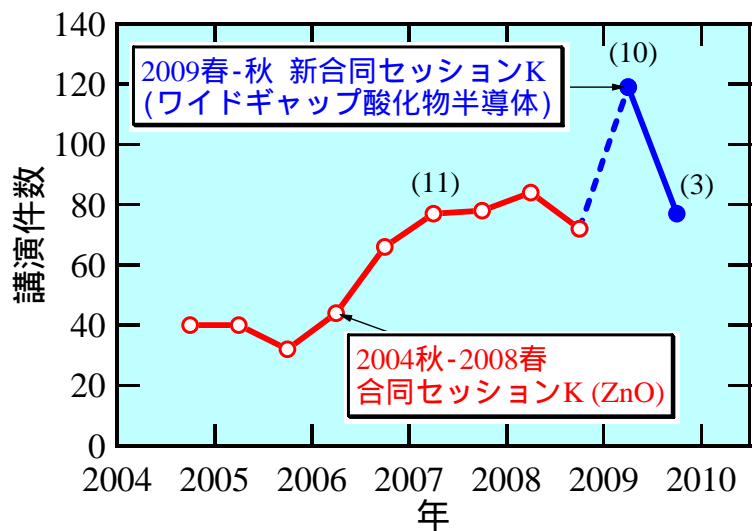


図 1 . 講演件数 (一般講演・奨励賞受賞記念講演・関連シンポジウム講演の合計) の推移 . 括弧内の数字は関連シンポジウムの講演件数 .

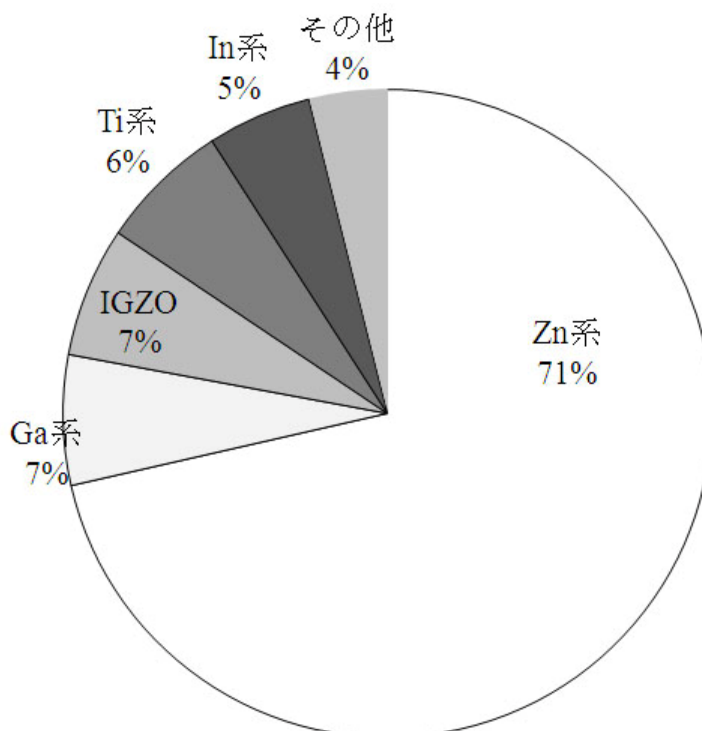


図 2 . 今回行われた 77 件の講演における材料別内訳 .