

光機能性材料・素子ラボ

(Novel Optoelectronic Materials and Devices Lab.)

研究項目及び研究期間

- II-VI族酸化物系半導体薄膜による光エレクトロニクス材料の研究(平成9年度～14年度)
- 酸化物半導体 ZnO の素子化のための基礎技術の研究(平成12年度)
- 光学物質複合構造における光機能の制御(平成12年度～13年度)
- ZnO 半導体薄膜デバイスの開発(平成12年度～14年度)

1. 当該研究の背景

光通信・情報処理の普及に伴って半導体デバイス機能の多様化とそのシステム応用へのニーズが増大しており、極短・長波長、超高速、高出力化等の未踏領域での材料・デバイス技術の開発が待望されている。本研究課題では、薄膜結晶成長の困難さのためにこれまで光エレクトロニクスへの展開が図れなかった酸化亜鉛(ZnO)等の酸化物材料に注目し、その高品質な結晶薄膜の作製技術の確立と紫外・赤外発光素子、非線形光学素子、光スイッチ、メモリー素子等の高機能光素子の開発を目指す。ZnOは、これまでも透明導電膜や表面弾性波素子に使われている有用な材料であるが、近年ワイドギャップ半導体としての特性が注目を集めており、短波長域での発光素子実現を目指した研究が推進されている。高品質な半導体単結晶薄膜が作

製可能になれば既存の応用範囲を大幅に拡大することが可能になる(図1参照)。最近では、レーザMBE法により成長したZnO薄膜において、光励起による室温レーザ発振を観察するなどの報告もある。ZnOは励起子の結合エネルギーが大きく、励起子発光を利用した高効率な短波長発光素子が室温で実現できる可能性も示された。本研究課題では、励起子に起因する発光現象の解明とその制御技術の確立を目指す。さらに、これまでに実現されていないp型ドーピングを実現することで、pn接合による電流注入型の発光素子作製技術の開発を目指す。

2. これまでの研究経過と現状

光電子素子の実用化に資する酸化亜鉛(ZnO)単結晶薄膜の作製を目指し、サファイア基板上へのエピタキ

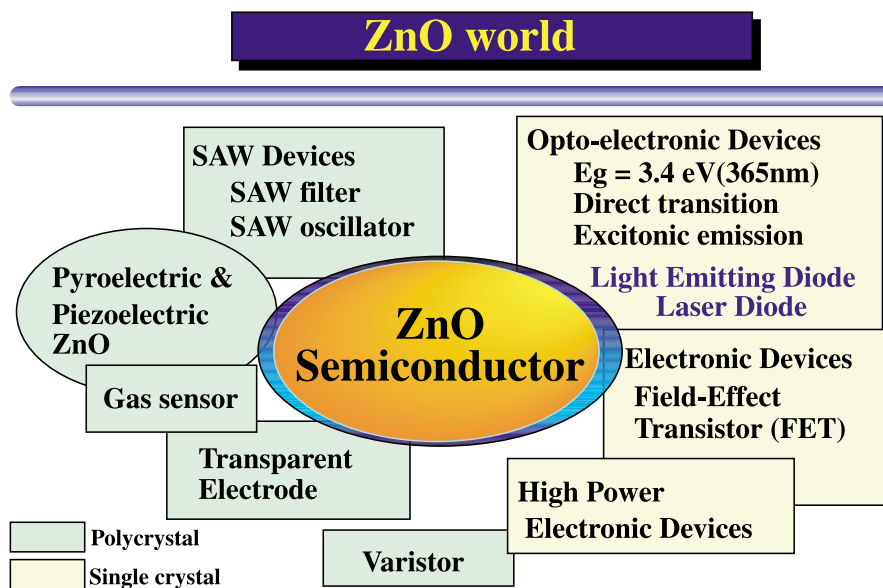


図1 ZnO単結晶薄膜によって広がる新しい応用 (ZnO World)

シャル成長技術の開発に取り組んできた。平成9年度, 10年度は, 高品質なZnO単結晶薄膜の成長を目指し, ラジカル酸素源を利用した分子線エピタキシャル法(図2参照)により, サファイアC面上への結晶成長とその評価を行った。その結果, ZnOとサファイア基板間の格子不整合が非常に大きいにも関わらず, 高品質なエピタキシャル薄膜が成長できることがわかった。

- 平成11年度は, ローム株式会社(ローム)と共同で,
 - a) サファイアA面(11-20)基板の使用,
 - b) 低温バッファ層の導入,
 - c) 高温成長,

等の独自の手法を開発し世界最高品質のZnO薄膜の成長を実現した。従来のC面サファイア基板上に成長させたZnO薄膜は結晶方位の完全に揃った単結晶を得るのが難しく回転ドメインが発生していたが, A面(11-20)サファイア基板を用いることにより結晶方位の完全に揃った単結晶を得ることに成功した。X線回折による評価では, 回折線の半値幅が 0.003° と装置の検出限界を越えるほど良質な薄膜が作製できた。サファイアA面(11-20)基板の使用以外にも, 低温バッファ層の導入, 高温成長, 等の独自の手法を開発することで, 成長後の熱処理なしに, 残留電子濃度が $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以下で, 移動度が $120 \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 以上, という電子材料品質のZnO単結晶薄膜の作製に初めて成功した(図3参照)。この成果によって, これまで困難と考えられてきた

p型ZnO作製に挑む下地が整ったことになり, 電流注入型の発光素子実現に向けた研究の加速が期待できる。

3. 期待される波及効果

酸化物結晶であるZnOの研究の歴史は古く, これまでに様々な用途で使用されてきた。その中でも, 表面弾性波素子, ガスセンサー, 圧電素子, 焦電素子など多くのデバイスが多結晶で既に実用化されている。しかし, 半導体特性を利用した例としては, 太陽電池の窓層や透明導電膜などが報告されている程度である。ワイドギャップ半導体としての特性を生かした青色・紫外域の発光・受光素子としての応用も期待されているが, p型の作製が難しいことや, n型においても残留電子濃度の制御が難しいことから, これまで実現できなかった。

本研究において作製した膜は表面が極めて平坦であり, 素子設計の上からも汎用性が高い。また, 分子線エピタキシャル(MBE)法では, 材料の高純度化が図れることから, 半導体グレードの材料成長には適している。結晶成長技術の向上によって, 電子材料品質のZnO単結晶薄膜の成長が可能になった。これにより, これまで困難と考えられてきたp型ZnO作製に挑む下地が整ったことになり, 電流注入型の発光素子実現に向けた研究の加速が可能になる。これらの新しい半導体光

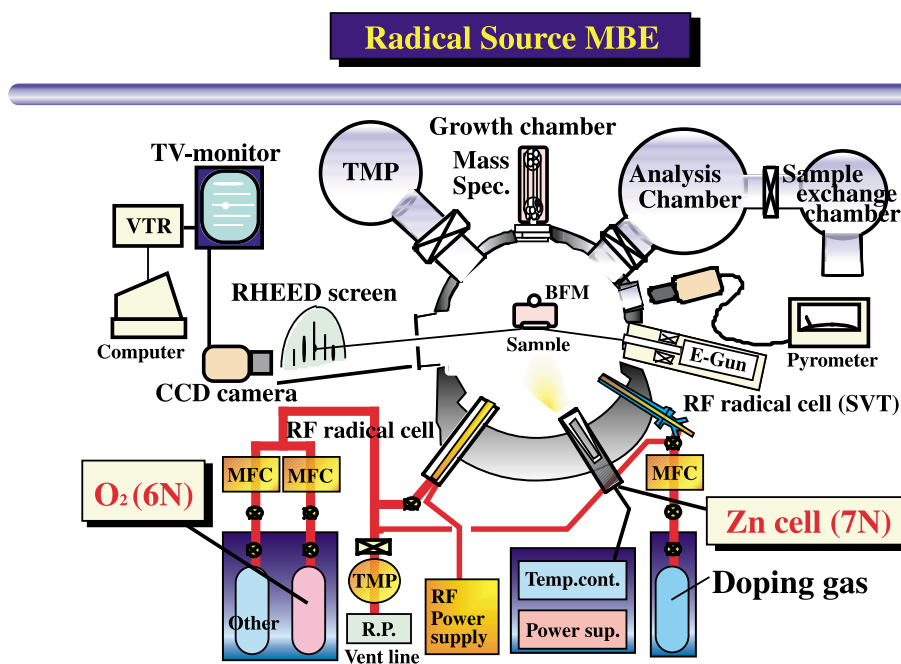


図2 ラジカル酸素源を用いた分子線エピタキシャル装置

Improvement of ZnO electrical properties

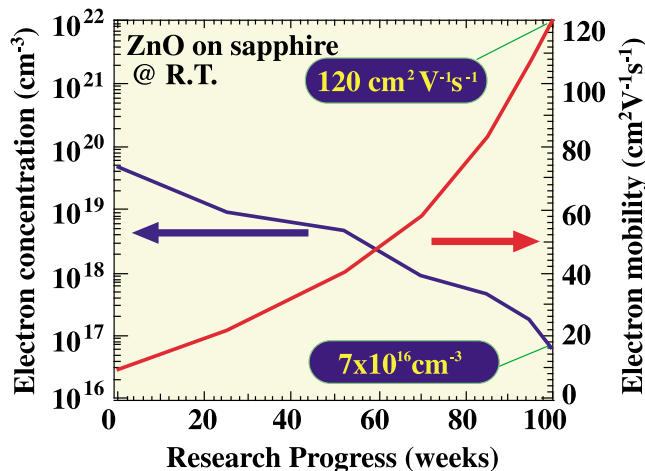


図3 当研究グループにおけるZnOエピタキシャル薄膜の残留欠陥濃度と移動度の推移

デバイスの開発は、高密度光記録、低コスト表示デバイス、テラビット超高速光情報伝送、多機能光電子集積化等の実現へと繋がる重要な技術であり、開発が成功すると、小型化や低コスト化による新しい光周辺機器のマーケットが拓けるため光産業発展への貢献が極めて大きい。

4. 今後の研究展開の方向

新法人移行後は、光技術領域の重点研究テーマとして研究を推進する予定である。

研究発表リスト(最近の主な成果)

主な発表論文

- 1) K. Matsubara, P. Fons, A. Yamada, M. Watanabe, S. Niki, Thin Solid Films V.347 (1999) 238.
- 2) P. Fons, K. Iwata, S. Niki, A. Yamada, K. Matsubara, J. Crystal Growth V.201/202 (1999) 627.
- 3) P. Fons, K. Iwata, S. Niki, A. Yamada, K. Matsubara, M. Watanabe, J. Crystal Growth V.209 (2000) 532
- 4) K. Iwata, P. Fons, A. Yamada, K. Matsubara, S. Niki, J. Cryst. Growth, V. 209, (2000) 526.
- 5) K. Iwata, P. Fons, S.Niki, A. Yamada, K.Matsubara, K.Nakahara, T. Tanabe and H. Takasu, J. Cryst. Growth, V.

214/215 (2000) 50.

- 6) K. Iwata, P. Fons, S.Niki, A. Yamada, K.Matsubara, K.Nakahara, T. Tanabe and H. Takasu Physics Status Solidi. (a), V. 180 (2000) 287.

主な口頭発表論文

- 1) K.Iwata, P.Fons, A.Yamada, K.Matsubara, S.Niki, T.Tanabe, H.Takasu, 9th IC.II-VI (1999.6).
- 2) K.Iwata, P.Fons, S.Niki, A.Yamada, K.Matsubara, 18th 電子材料シンポジウム.(1999.6).
- 3) P.Fons, K.Iwata, S.Niki, A.Yamada, K.Matsubara, M.Watanabe 7th ICCBE(1999.7).
- 4) K.Matsubara, S.Niki, M.Watanabe, P.Fons, K.Iwata, A.Yamada, COLA'99 (1999.7).

主な新聞発表

1999年12月22日

- 「酸化亜鉛を単結晶薄膜化」日刊工業新聞
- 「青色素子の発光性向上」日経産業新聞
- 「サファイア基板上的のエピタキシャル成長に成功」電波新聞
- 「単結晶薄膜の成長に成功」京都新聞

2000年1月5日

- 「酸化亜鉛の単結晶薄膜を作製」日本工業新聞

当該研究担当者等

ラボ構成員(総数8名)

職員(5名) 仁木 栄* ,山田昭政 ,ポール・フォンス 松
原浩司 岩田拡也(光技術部)

職員以外(3名) 中原 健(ローム株式会社),ラルフ・
フンガー(STAフェロー),小原 明(特別技術補助
職員)

*ラボリーダー