

(様式第5号)

ZnO 単結晶基板の X 線トポグラフィによる欠陥の可視化と ショットキーダイオードの電流電圧特性との関係 Visualization of dislocations in a ZnO single crystal substrate using X-ray topography method and relation with current-voltage characteristics in a Schottky diode.

遠藤 治之、大橋 律男
Haruyuki Endo, Ritsuo Oohashi

地方独立行政法人 岩手県工業技術センター
イー・エム・シー半導体株式会社

Iwate industrial research institute, EMC semiconductor CO., LTD.

1. 概要

水熱育成法により作製された ZnO 単結晶基板の結晶欠陥を X 線トポグラフィ法により評価した。その結果、貫通らせん転位や貫通刃状転位等と考えられる欠陥が多数観察され、ショットキーフォトダイオードの電流電圧特性に影響を及ぼす可能性が高いことが示唆された。

(English)

Crystal defects in a ZnO single crystal grown by hydrothermal method was investigated using a X-ray topography. High density defects were observed in +c-face ZnO and those results suggested that the high density defects cause larger reverse biased current in a Schottky photodiode.

2. 背景と目的

ZnO は直接遷移形のワイドバンドギャップ酸化物半導体で、室温における励起子束縛エネルギーが 60 meV と大きく、希少金属を含まないことから、発光ダイオードや透明導電膜の用途などへの応用が期待されている。また、光吸収係数が大きく、Mg と混晶させることでバンドギャップ変調が可能であることから、光センサ用途での研究も進んでいる。

我々は、バルク ZnO 単結晶基板を使用した Pt/ZnO ショットキーフォトダイオード開発を進めており、これまでにショットキーフォトダイオード特性の基板極性依存性や感度波長帯域制御について報告してきた[1, 2]。しかし作製ロットによっては、ダイオードの逆方向リーク電流が大きい素子が作製され、外観上は異常が見られないことから原因特定が困難なケースがあり問題となっている。一方、SiC を基板として使用したショットキーダイオードでは、SiC 基板中に存在する貫通転位が逆方向電流に影響を及ぼすことが報告されている[3]。そこで本研究では、ZnO 単結晶基板中に存在する結晶欠陥を非破壊観察し、ダイオードの逆方向特性との関係について調べることを目的とする。

3. 実験内容

測定試料として、水熱育成法で成長された東京電波(株)製+c板ZnO単結晶基板(基板サイズ10×10×0.35 mm³)の+c面を使用した。X線トポグラフィ測定は、ビームラインBL09Aを使用して行った。ショットキーダイオードは、ZnO基板の表面を使用するデバイスであるので、ZnO基板の表層付近に関する欠陥情報が素子特性へ大きな影響を及ぼすと考えられる。よって基板の表層近傍の欠陥情報を重点的に調べる為、斜入射X線トポグラフィ法で測定を行った[4]。図1にX線トポグラフィの測定セッ

トアップの外観写真を示す。ZnO基板はステージ上に+c面を表面にして載置し、基板の[11-20]方向と平行にX線を入射させた。今回、我々にとって初めてのZnO基板のX線トポグラフィ測定であったので、まずZnO基板の欠陥に関する概要を調べる為、白色X線を入射X線として使用した。入射X線はZnO基板の表面に対して約 6° の角度で入射させ、 $2\theta=90^\circ$ の位置に原子核乾板を設置することでX線像を画像化した。

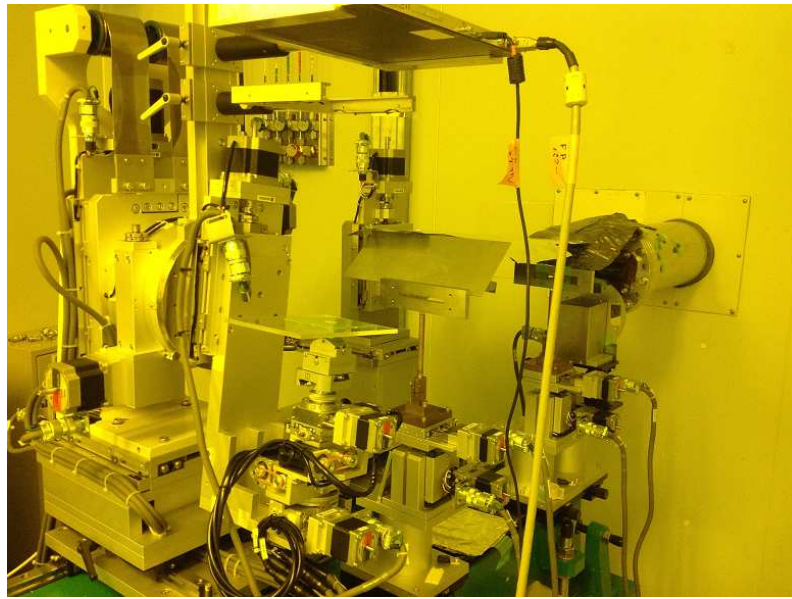


図1 白色X線を光源としたX線トポグラフィ測定セットアップ

4. 実験結果と考察

図2に測定で得られたX線トポグラフィ像を示す。画像中、不鮮明だが多数の点状と筋状の模様が観察された。SiCやZnOの文献等[5, 6]から、点状の欠陥は貫通らせん転位や貫通刃状転位、筋状の欠陥は結晶育成中または加工時に発生した転位と推測されるが、現段階でそれらの発生原因や欠陥種の同定は出来ていない。しかし、これらの欠陥は 10 mm サイズの基板全体に高い密度で広がっていることから、ショットキーダイオードを作製した際、高い確率でショットキー電極部にこれらの欠陥が含まれることが判明した。よって、ショットキーダイオードを作製した際、これらの欠陥がショットキーダイオードの電気的特性にどの程度影響を及ぼすか、定量的に把握することが課題解決に向けて重要であると考えられる。

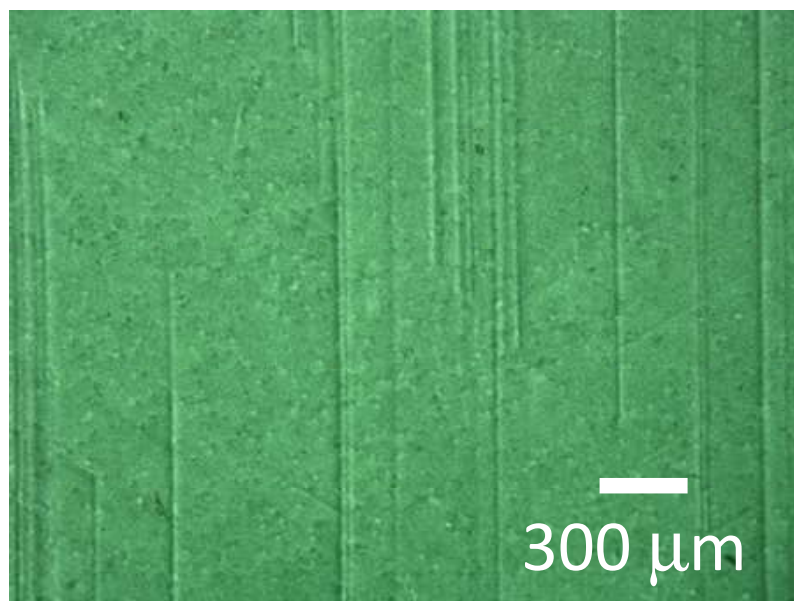


図2 X線トポグラフィ像

5. 今後の課題

ZnO 基板には多数の結晶欠陥が存在することが判明したが、その欠陥種の同定と、それらの欠陥が素子特性に及ぼす影響はまだわかっていない。今後、単色 X 線を使用した X 線トポグラフィ測定を行うとともにエッチピットとの関連性を調査して欠陥種の同定を試みると共に、素子特性との相関を調査する予定である。

本研究の一部は、JST 復興促進プログラムの助成を受けた。

6. 参考文献

- [1] H. Endo, M. Sugibuchi, K. Takahashi, S. Goto, S. Sugimura, K. Hane and Y. Kashiwaba, Appl. Phys. Lett. **90** (2007) 121906.
- [2] H. Endo, M. Kikuchi, M. Ashioi, Y. Kashiwaba, K. Hane and Y. Kashiwaba, Appl. Phys. Express, **1** (5) (2008) 051201.
- [3] H. Fujiwara, H. Naruoka, M. Konishi, K. Hamada, T. Katsuo, T. Ishikawa, Y. Watanabe, T. Endo, Appl. Phys. Lett., **101** (2012) 0242104.
- [4] 松畑洋文、半導体 SiC 技術と応用 (2011) 220-227.
- [5] 山口博隆、松畑洋文、日本結晶学会誌 **54**, 18-23 (2012)
- [6] G. Dhanaraj, M. Dudley, D. Bliss, M. Callhan, M. Harris, J. Crystal Growth **297** (2006) 74-79.

7. 論文発表・特許 (注: 本課題に関連するこれまでの代表的な成果)

特になし

8. キーワード (注: 試料及び実験方法を特定する用語を 2~3)

ZnO、ショットキーフォトダイオード、X 線トポグラフィ、白色 X 線

9. 研究成果公開について

- ① 論文 (査読付) 発表の報告 (報告時期: 2016 年 3 月)
- ② 研究成果公報の原稿提出 (提出時期: 2016 年 3 月)