

(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

我々は紫外線センサ開発を目的とし、水熱育成法により作製された ZnO 単結晶基板を受光部とするショットキーフォトダイオード開発を進めている。本報告では単色 X 線を使用した X 線トポグラフィ法により ZnO 単結晶基板中の結晶欠陥を評価し、転位等の結晶欠陥の観察を行った結果について報告する。

(English)

We have been developing a Schottky photodiode using a hydrothermally grown ZnO single crystal toward an ultraviolet sensor. In this report, dislocations in a ZnO single crystal observed by X-ray topography using monochromatic X-ray were described.

2. 背景と目的

近年、持続可能な発展に向けて、希少金属を含まずにありふれた材料で機能を発現させるための技術開発が重要となっている。中でも、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、可視域が透明な分光特性を有していることから、発光ダイオード (LED) や透明導電膜の用途などへの応用が期待され研究が進んでいる。

我々は ZnO の紫外域における高い光吸収特性を活かし、紫外線受光部としてバルク 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]。

この紫外光センシング用ショットキーフォトダイオードにおいて、雑音等価電力 (NEP) は最も重要な性能指数の一つで、NEP を小さくするためには逆方向電流値が小さいことが必要である。しかしこれまでの研究開発において、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、ワイドギャップ半導体の中で先行して実用化が進んでいる SiC を基板として使用したショットキーダイオードでは、基板中に存在する貫通転位等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 X 線トポグラフィ法で非破壊観察し、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 (試料、実験方法、解析方法の説明)

X線トポグラフィ測定用試料として、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 $10 \times 10 \times 0.35 \text{ mm}^3$)を使用した。c板ZnO単結晶基板には、Zn原子を最表面とする+c面と、O原子を最表面とする-c面がある。我々の研究では、Pt薄膜をショットキー電極として使用する場合、+c面を使用することで整流性の優れたショットキーダイオードの作製が可能であることが分かっているため、主に+c面の分析を行った。尚、使用したビームラインは、BL09Aである。

本研究で作製する紫外線センサ用ショットキーダイオードは、主に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、X線入射角を浅くした斜入射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。事前にトリアルユースにおいて白色X線を入射X線として使用した測定を行い、欠陥の概要を観察できたことから、本測定では欠陥の同定を試みる為、Ge二結晶により単色化した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(114)面の回折を $2\theta=90^\circ$ の位置に原子核乾板を設置することで回折X線を画像化した。尚、今回の試料サイズは $\square 10\text{mm}$ だが、一度の測定で全面積の画像を撮影出来なかったことから、入射X線の波長を 1.4297 nm から 1.4319 nm までスキャンさせることで試料全域の測定を行った。

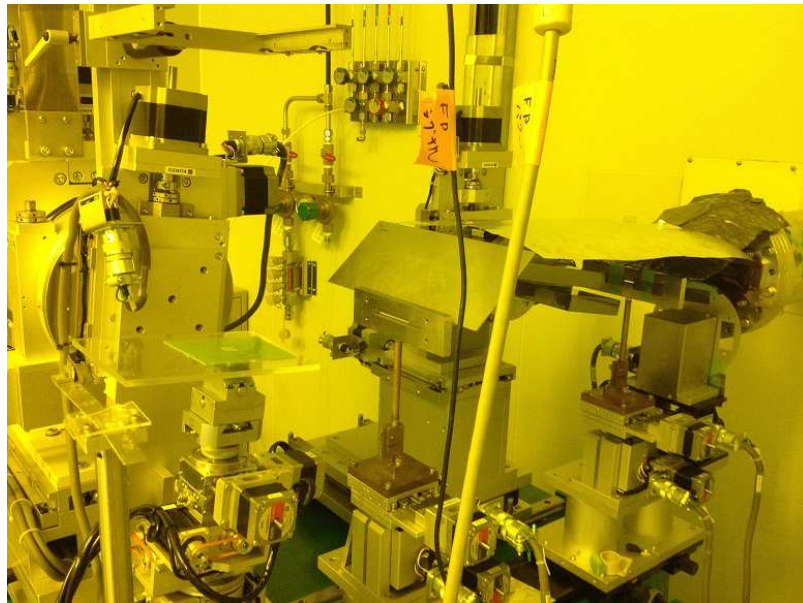


図1 単色X線を光源としたX線トポグラフィ測定セットアップ

4. 実験結果と考察

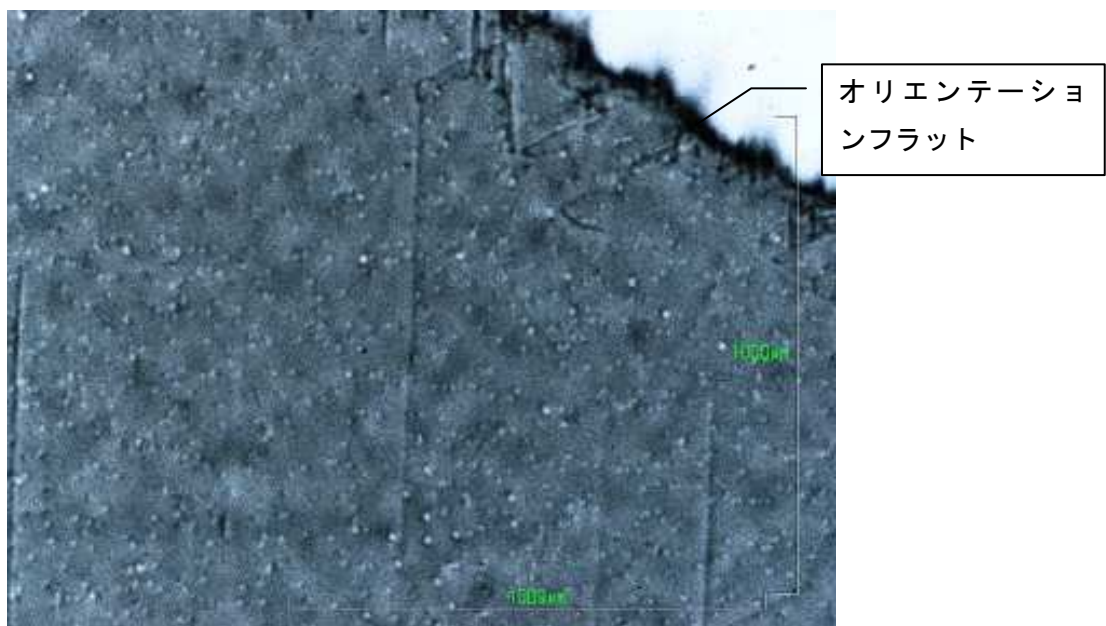


図2 X線トポグラフィ像

図2に測定で得られたX線トポグラフィ像を示す。白色X線を入射X線として使用した場合に比較して、点状および筋状の様子が鮮明に観察された。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考えられるが、欠陥の同定のためには更なる分析が必要である。しかし、これらの欠陥は他の基板も含め基板全体に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。

5. 今後の課題

今回の測定で、我々が使用しているZnO基板には、多数の結晶欠陥が存在することが判明した。しかし、その欠陥種の同定と素子特性へ及ぼす影響についてはまだ分かっていない。今後、X線トポグラフィ測定を行った基板をエッチピット法によって評価するなどして、欠陥の同定を行うと共に、素子特性を評価することで、欠陥が素子特性へ及ぼす影響について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、酸化亜鉛、ショットキーフォトダイオード、X線トポグラフィ

9. 研究成果公開について (注：※2に記載した研究成果の公開について①と②のうち該当しない方を消してください。また、論文(査読付)発表と研究センターへの報告、または研究成果公報への原稿提出時期を記入してください(2013年度実施課題は2015年度末が期限となります。)
長期タイプ課題は、ご利用の最終期の利用報告書にご記入ください。

- | | |
|----------------|----------------|
| 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) |