

(様式第5号)

X線トポグラフィによる化合物半導体発光素子の結晶欠陥評価
X-ray topography study of defects in compound semiconductor light emitting devices
加藤浩高¹、原田俊太²、坂貴³、市田卓¹、宇治原徹²
H.Kato, S.Harada, T.Saka, T.Ichida, T.Ujihara

¹大同特殊鋼株式会社、²名古屋大学大学院工学研究科、³大同大学
Daido Steel Co., Ltd., Nagoya University Graduate School of Engineering, Daido University

- ※1 先端創生利用(長期タイプ、長期トライアルユース)課題は、実施課題名の末尾に期を表す(I)、(II)、(III)を追記して下さい。
※2 利用情報の開示が必要な課題は、本利用報告書とは別に利用年度終了後二年以内に研究成果公開(論文(査読付)の発表又は研究センターの研究成果公報で公表)が必要です。(トライアルユースを除く)

1. 概要 (注：結論を含めて下さい)

転位の通電による挙動を非破壊で調べるために、予め転位線の存在が確認できている発光素子用エピタキシャルウェハをLEDに加工し、一定時間通電を行った後にX線トポグラフィにより観察した。

通電前に見られていたLEDの発光部の転位が増殖していることが確認できた。また、この転位と重なる位置に暗部が存在していることも確認した。

(English)

We observed the epitaxial wafers which were processed into LEDs driving current for a definite period of time by X-ray topography in order to investigate behavior of dislocations by driving current.

It has observed that transposition of the luminescence part of LED currently seen before turning on electricity was increasing.

Moreover, existence of dark area was observed on this dislocation.

2. 背景と目的

発光ダイオード(LED)は、有機金属気相成長(MOCVD)によって基板上にエピタキシャル成長される製法が液相(LPE)法からとって代わり主流になった。MOCVDによる結晶成長は、薄膜の制御性が良く、ナノ構造を作りこむことに長けているが、一方で原料基板の転位を引継ぎ、かつ結晶成長中に導入される欠陥をエピタキシャル層に含むため、成長層への結晶欠陥導入を完全に回避することは困難である。

GaAs系LEDでは、活性層中の転位などの結晶欠陥が非発光再結合サイトとなり、欠陥部分が通電中に暗くなる、いわゆる暗部となることが知られている。我々は、基板の欠陥の存在する位置に対応し、その上に成長したLEDに暗部が出現することを実験的に確認している⁴⁾。これらの結晶欠陥はLEDの動作中に増殖し暗部が広がることによってLEDの光出力低下(degradation)をもたらす、LEDの素子寿命を決める要素となっている。

我々は、InGaAs/AlGaAs歪量子井戸構造を持つLEDの挙動を調査し、GaAsを活性層とするLEDに比べ、degradationが小さいことを発見した⁵⁾。その原因として、転位の増殖が抑制される、あるいは欠陥部位への電流注入が抑制されるなどの仮説を立てて説明してきた。しかし、この歪量子井戸構

造における欠陥の増殖過程や光出力への影響について詳細は未だ明らかになっていない。

そこで我々はその増殖過程を明らかにするために、X線トポグラフィを用いて非破壊で調査する方法を検討している。

2011年度には暗部の発生したLEDをX線トポグラフィにより観察し、暗部の位置に転位の存在を確認、同方法で非破壊的に転位の観察ができることを確認した。本年度はLEDの暗部の通電変化をトポグラフィで経時的に観察し、それらと光出力との関係を対比することにより、結晶欠陥の増殖過程と degradation との関係を明らかにする。

昨年7月に発光素子用エピタキシャルウェハのX線トポグラフィによる観察を行い多数の転位の存在を確認した。そのウェハをプロセス加工し、同年10月の観察にて発光部に転位の存在するLEDチップを特定した。今回、特定したLEDチップの通電を行い、発光像、発光特性とトポグラフィを比較した。

3. 実験内容 (試料、実験方法、解析方法の説明)

X線トポグラフィで多数の転位の存在を確認したエピタキシャルウェハをLEDに加工した。試料を再びX線トポグラフィで観察し、発光部に転位の存在するLEDチップを特定した。このLEDチップを100°Cの温度下において150mAで572時間通電し、再度X線トポグラフィで観察した。

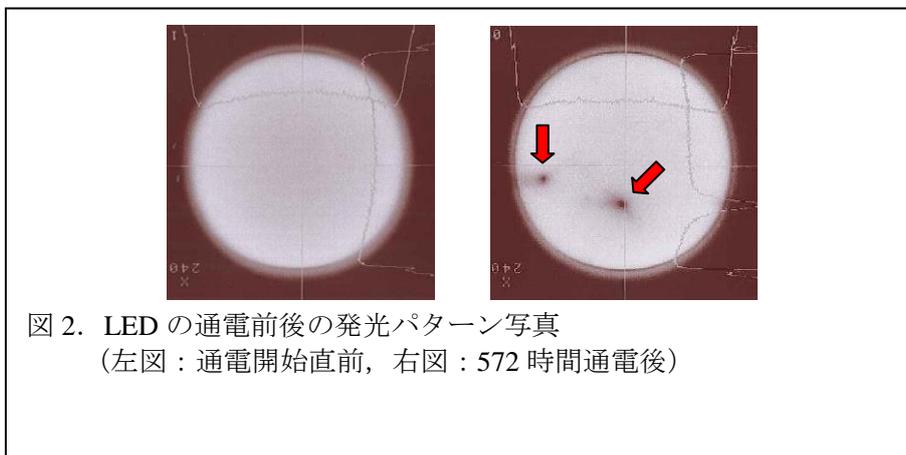
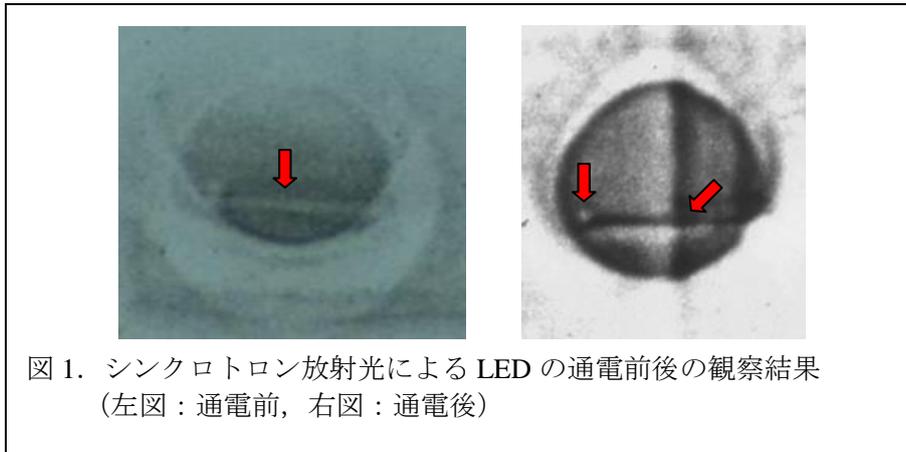
九州シンクロトロン光研究センターのBL09Aを利用し、シンクロトロン放射光を用いたX線トポグラフィを観察。観察条件は(115)面回折、入射X線波長：1.5Å、X線入射角θ：26~27度。CCDカメラによりトポグラフィを確認した後に原子核乾板で撮影した。

表 1. LED 構造 【CONFIDENTIAL】

#	Layer	Material	thickness(μm)	Remark
1	cap layer	GaAs	6.0	
2	clad layer	AlGaAs	0.5	
3	Active layer	AlGaAs/InGaAs	0.5	MQW
4	clad layer	AlGaAs	2.0	
5	DBR	AlGaAs/AlAs	4.0	DBR(30pair)
6	buffer layer	GaAs	0.2	
GaAs 基板				

4. 実験結果と考察

図1は通電前後のLEDのX線トポグラフィである。通電前には水平方向に転位が存在していたが、通電後には新たに垂直方向に増殖した転位が確認できた。図2は通電前後のLEDの発光パターン写真である。通電前には暗部は存在していなかったが、通電後は暗部が2箇所確認された。この暗部は転位線上に存在していた。暗部と転位には何らかの関係があると思われる。



5. 今後の課題

暗部が発生し、かつ通電変化が観察された転位の平面TEM像と断面TEM像の観察を行い、転位の広がりや断面構造を観察する。LEDの発光特性に影響する転位の増殖過程を調査する。特に、非発光再結合サイトとなる転位の生成・増殖メカニズムを解明する。

6. 参考文献

- 1) GaAs/GaAlAs surface emitting IR LED with Bragg reflector grown by MOCVD: T.Kato et al., J. Cryst. Growth, 107(1991)345.
- 2) Bragg reflector of GaAlAs/AlAs layers with wide band width applicable to light emitting diodes: T.Saka et al., J. Appl. Phys., 73(1993) 380.
- 3) TEM studies of AlGaAs/AlAs multilayers: K.Kuroda et.al., ICEM 13-Paris,(1994)145.
- 4) Evidence of correlation between dark spots and dislocations from substrate in light emitting diodes: K.Hobo et al., Jpn. J. Appl. Phys., 44(2005) 1004.
- 5) Development of highly reliable point source infrared light emitting diodes and analysis using a new parameter of dark area ratio: T.Kato et al., Jpn J. Appl. Phys., 48(2009) 102102.
- 6) X-ray topography study of defects in compound semiconductor light emitting devices: H.Kato et al., Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials Tohoku University and Kyushu Synchrotron Light Reserch Center joint symposium, (2012)

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）

現在のところ該当なし。

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）

- ・ X線トポグラフィ
- ・ エピタキシャル層
- ・ 結晶欠陥

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下さい。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下さい（2012年度実施課題は2014年度末が期限となります。）

- | | |
|----------------|--------------------------|
| ① 論文（査読付）発表の報告 | （報告時期： 年 月） |
| ② 研究成果公報の原稿提出 | （提出時期：2015年 3月） |