

2019年8月2日

報道機関 各位

(株) 福田結晶技術研究所
代表取締役社長 福田承生

GaN 用基板 ScAlMgO_4 (略称 SAM) : 直径 50 mm 無転位単結晶

引き上げに成功

— InGaN と格子不整合無し、かつ基板自体に転位無しの新規基板創成—
青色、緑色、赤色のレーザーも可能、かつ GaN パワーデバイスの進展に大きな貢献が期待される基板である。半導体関連での無転位基板は Si 以外では唯一で、エピタキシャル膜の転位発生の解明と直径 150 mm 以上の基板大口径化が出来れば日本半導体産業を材料面から支える主要技術にもなりうる快挙である。

【発表のポイント】

- ・直径 50 mm (2 インチ) の無転位単結晶の作成に成功
- ・GaN と格子不整合が小さく、又 InGaN とは格子不整合が無い
- ・SAM 基板結晶自体に転位が無い新規基板創成
- ・この開発により青色、緑色、赤色のレーザーが可能、かつパワーデバイスの進展に大きな期待
- ・半導体関連での無転位基板は、Si 以外では唯一

【背景】

GaN 発光ダイオード(LED)用基板としてサファイア結晶が使われているが、GaN とサファイアは格子定数のミスマッチが 10%以上もある。サファイア基板上に GaN 薄膜が成長する際、多くの欠陥が入るため、LED の効率、レーザーダイオード(LD) の歩留及び素子寿命の点で大きな障害になっていた。ScAlMgO₄ (略称 **SAM**、これまでは SCAM と略していたが、学会において **SAM** に統一の方向) 単結晶は 1995 年 AT&T Bell 研究所に GaN 基板として開発⁽¹⁾されたが、良質な GaN 薄膜成長の報告例はない。(株)福田結晶技術研究所は CZ 法により良質な直径 2 インチ **SAM** 結晶の c 軸引上げに成功し、2014 年に発表⁽²⁾した。東北大学 松岡隆志教授との共同研究によって、**SAM** 結晶の劈開加工による基板作成、劈開面への GaN 薄膜成長、基板にフィットした成膜構造の開発がされた。それらの成果が良質 GaN 自立基板実用化⁽³⁾へと導いた。またパナソニックの NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構) 委託事業による開発も加わり、サファイア基板上への LED に比べて、大幅な発光効率の改善⁽⁴⁾の見通しが立てられた。弊社では結晶育成炉内の構造最適化により直径 75mm (3 インチ) までの単結晶を高歩留りで製造できる技術を確認し、ウエハのテストサンプル販売を行うに至った。

【今回の成果】

(株)福田結晶技術研究所は高品質化、高歩留り化に向けて種結晶から、直径 50 mm (2 インチ) 結晶作成条件までの見直しと改善を図った。直径 50 mm (2 インチ) の無転位 **SAM** 単結晶作成に成功した。引上げ方位は c 軸である。作成結晶から直径 40 mm に外周研削して c 面基板を切り出したウエハの X 線トポグラフィ (XRT) の結果からほぼ全面無転位化出来ることが判った。(写真 1) **SAM** が Si と

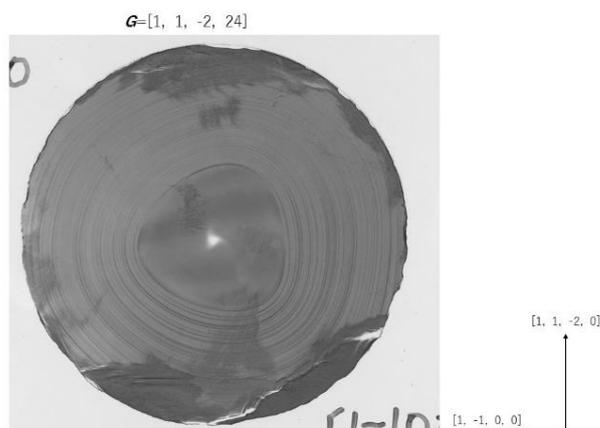


写真 1 無転位直径 40 mm **SAM** ウエハの X 線トポグラフィ

同様に無転位のウエハが出来ることは、世界でも初めての発見である。半導体関連では、Si 以外には In ドープ GaAs、Si ドープ GaAs の例はあるが、4 元素からなる多成分系の結晶では過去に例がない。

SAM は GaN と比べ格子不整合が小さく、InGaN (In 組成で 17%近傍) では格子整合する。しかも基板結晶自体に転位が存在しない唯一の新規基板であり、この基板上に作成される窒化物半導体膜の低転位化により、作製されるデバイスの品質向上につながることを期待できる。より長波長 (緑色や赤色) の LED、LD、さらに GaN パワーデバイスの進展にも大きな貢献が期待される。特に **SAM** 基板は InGaN とは格子不整合がなく、かつ基板自体に転位が存在しないため、この基板上の InGaN 膜もまた、無転位あるいは低転位となる可能性がある。そのため、従来の緑色レーザー、青色レーザーに加え赤色レーザーの道も拓かれる。

SAM 結晶分析評価を(株)東レリサーチセンターと立命館大学へ依頼したことで高品質ということが判明。

立命館大学 荒木努教授 (理工学部副学長)、藤井高志客員教授と佐賀県立九州シンクロトン光研究センター 石地耕太郎研究員により XRT を使用し転位についても調べた結果、直径 40 mm **SAM** ウエハが無転位であることが見出された。複合酸化物では珍しい例である。

また、東北大学 杉山和正教授と(株)リガク 稲葉勝彦博士によって転位だけでなく積層欠陥もないことが確認された。

弊社では結晶成長条件と作成結晶品質評価との相関調査を行った。結晶は直径 50mm 結晶育成用の試験炉で作成出来た。無転位結晶の重要な製造のポイントは種結晶が無転位であることに加えて、**SAM** のメルト特性に見合った最適固化条件の把握で、さらに融液成長における転位発生の原理に基づいて作成したことである。現在直径 75 mm (3 インチ) 結晶製造への適用を図っている。

SAM の c 面での劈開を利用して劈開 c 面ウエハ (研磨加工無し) も作成出来、劈開剥離を利用した GaN 自立基板の開発が進められている。今回の高品質、無転位結晶は、劈開面がパーフェクトの加工と大口径ウエハ劈開加工の見通しが立った。

弊社では直径 50mm、65mm のウエハをテストサンプルとして販売を開始したが、国内外からの購入に加えて、共同開発、技術移転の話もあり検討している。

【今後と波及効果】

今後は GaN エピタキシャル膜への転位の解明と直径 150 mm (6 インチ) への大口径化に着手する。達成すれば、光半導体、さらには GaN 半導体;パワーデバイスへの道が拓け、日本の半導体産業を材料面から支える主要技術になりうる快挙である。

エピタキシャル膜の転位の解明は立命館大学、佐賀県立九州シンクロトロン光研究センターとの共同研究でスタートし、**SAM** ウエハ上の GaN と InGaN エピタキシャル成長に関しても名城大学、立命館大等のグループとスタートした。直径 4 インチ SAM 結晶の無転位化への開発も計画している。

【発表・特許】

今回の成果は 2019 年 9 月 18 日札幌で行われる応用物理学会にて発表する予定。商品は東京で開催される 12 月のセミコンジャパンに展示予定。

関連する特許はすでに 4 件申請済、現在 3 件申請中である。

【問い合わせ先】

(研究に関すること)

(株)福田結晶技術研究所

特別研究員 熊谷毅 022-303-0171

kumagaitsuyoshi00@gmail.com

顧問 藤井高志 090-5168-4504

katsuraopt@gaia.eonet.ne.jp

用語

チョクラルスキー法(Czochralski method)：単結晶育成法の 1 つで、るつぼの中に融かした原料に、上部から種結晶を浸した後上方向に引き上げることで、単結晶を製造する方法。完全性の高い（欠陥などが極小の）結晶が製造可能な装置で、シリコンの製造でも有名。

劈開：結晶においては、原子間の結合が弱い結晶面で割れやすくなる。その面のことを劈開面という。

インゴット：融液から固化した固体のこと。

ウエハ：インゴットから切り出した板のこと。

X線ロックングカーブ：X線を用いて結晶性を評価する手法の 1 つ。

X線トポグラフィ：X線回折画像の濃淡により結晶欠陥を評価する手法の 1 つ。

(1) E. S. Hellman, C. D. Brandle, E. H. Hartford Jr., Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 395, 51 (1995)

(2) 「GaN LED および LD 用新結晶 ScAlMgO₄開発 直径 2 インチ結晶引上げと画期的な劈開加工基板で実証」東北大学 金属材料研究所, (株)福田結晶技術研究所, プレスリリース, 平成 26 年 8 月 7 日, (https://www.tohoku.ac.jp/japanese/newimg/pressimg/tohokuuniv-press_20140807_03web_.pdf), 2019 年 7 月 11 日閲覧

(3) T. Matsuoka, T. Fukuda, et al., 10th Intern. Conf. on Polish Soc. for Crystal Growth (ICPSCG10), Zakopane, Poland, 15 Oct - 21 Oct 2016

(4) A. Ueta, N. Ryoki, K. Miyano, M. Nobuoka, et al., The International Workshop on Nitride Semiconductors 2018, Kanazawa, Japan, November 11-16, 2018.