

単結晶サファイア基板

(1995年～現在)

過去より単結晶サファイアはその優れた機械的・熱的特性、化学的安定性、光透過性等の特徴を生かし一部の用途には使われていた。しかし、高価で大量生産が出来ないという理由から飛躍的な普及には至っていなかった。それは、大量に採用される用途自体もなかったため、生産性と結晶品質を共に満足させる結晶育成技術や加工技術の開発が求められなかったことも背景にある。しかしながら、近年の技術の進歩により、安価でかつ安定量産を実現することが出来るようになってからは、単結晶サファイアは広く工業材料として普及するようになった。中でも青色・白色LEDを製造するためのGaNを成長させる基板や液晶プロジェクタの輝度向上に欠かせない偏光子保持基板として大量に使用されるようになったことが大きな転機となり量産技術確立に拍車がかかったことが大きい。最近では、SOS^{注1)}基板を利用した高速かつ高周波駆動するデバイス用途としても採用され始めており、今後さらに大規模なCMOS回路を構成したデバイスにも採用されることが期待されている。

1. 製品適用分野

青色・白色LED、液晶プロジェクタ、電子デバイス。

2. 単結晶サファイアの特徴

・サファイアとは

単結晶サファイアは自然界に存在するAlとOからなる酸化アルミニウムのコランダム^{注2)}構造を持つ結晶であり、宝石として広く知られている。純粋な結晶は無色透明であるが、酸化アルミニウムにTiやFeの不純物が含まれると青色(ブルーサファイア)、Crが不純物で含まれると赤色(ルビー)に着色する。

サファイアは優れた機械的・熱的特性、化学的安定性、光透過性などの特性を有することから、人工的に育成された不純物の少ない高純度単結晶サファイアが多くの工業用分野で使われている。

・単結晶サファイアの特徴

サファイアは α -アルミナ(α - Al_2O_3)の結晶体であり、図1に示すように、六方晶系で近似的(正確には菱面体晶系)に表される。また、表1のような特性を持ち、代表的な特徴として下記の項目が挙げられる。

- (1) 非常に平滑な表面が得られる。
(CMP後 $R_a \leq 2 \text{ \AA}$)
- (2) 広波長範囲領域で優れた光透過性
(200nm ~ 5000nm)
- (3) 高温プロセスに耐えうる(融点; 2053°C)
- (4) 熱伝導性が良好である。(対石英ガラス; 42倍)
- (5) 耐薬品性に優れている。

3. 単結晶サファイア製造方法

サファイアは1876年フランスのフレミーが鉛系フラックスを用いたフェイルとの共同実験で初めてそ

の合成に成功している。人工的に合成された結晶としては最も古いものとされている¹⁾。その後、人工宝

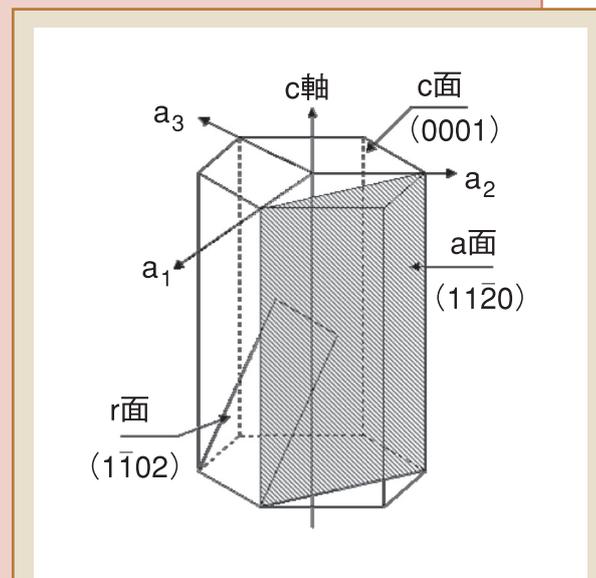


図1 サファイア単結晶のユニットセル図

サファイアは α -アルミナ(α - Al_2O_3)の結晶体であり、六方晶系で近似的(正確には菱面体晶系)に表される。

表1 サファイアのマテリアル特性

物理的性質		電気的特性	
結晶系 (六方晶系)	a= 4.763 Å	電気抵抗	$1 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{m}$ (常温)
	c=13.003 Å		$1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{m}$ (500°C)
密度	$3.97 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	誘電率	11.5 (//C軸)
引張強度	2250 MPa		9.3 (⊥C軸)
熱的性質		共に($10^3 \sim 10^{10} \text{ Hz}$, 25°C)	
熱膨張係数	$5.3 \times 10^{-6} / \text{K}$ (//C軸)	絶縁耐力	$48 \times 10^3 \text{ KV/m}$ (60Hz)
	$4.5 \times 10^{-6} / \text{K}$ (⊥C軸)		光学的性質
熱伝導率	42 W/m·k (常温)	屈折率	No = 1.768
比熱	0.75 KJ/kg·K (常温)		Ne = 1.760

見学可能:

京セラ ファインセラミック館

http://www.kyocera.co.jp/company/csr/others/fine_ceramic/index.html

Key-words: 単結晶基板, サファイア基板, LED, プロジェクタ, SOS

注1 完全空乏型SOI (Silicon On Insulator) の一種で Silicon On Sapphire のことを言う。サファイア基板上に単結晶シリコンを成長させ、そこにCMOS回路を形成させる技術。通常のシリコン基板に比べて高速、高周波特性、低消費電力に優れている。

注2 酸化アルミニウムの結晶からなる鉱物でコランダム構造の宝石の総称。純粋な結晶は無色透明で、結晶内の不純物により色が付く。

注3 単結晶育成方法の1つで Edge-defined Film-fed Growth の略。結晶方位制御が容易・育成速度が速い・断面形状の制御が可能といった特徴を有する。

石の再結晶化に使用されているベルヌーイ (Verneuil) 法を用い安価に製造出来るようになった。しかし、この方法では大きな材料が育成できないことや、結晶性が悪いことがあり使用用途が限られていたため、結晶性の向上を目的としてチョクラスキ (Czochralski) 法での育成が行われるようになった。しかし、この製法ではバルク状の材料育成となるため、加工工程にて大きなコストを必要としてしまうという問題があった。安価で且つ結晶品質の良い材料育成ができる可能性のある EFG (Edge-defined Film-fed Growth) 法の確立が¹⁾、単結晶サファイアを工業用材料として普及させるきっかけとなった。

EFG 法^{注3)} は 1971 年に Labelle らによって報告され²⁾、ファイバ状サファイア結晶の育成技術が開発された。さらに板状(リボン)、円筒状サファイア結晶の育成技術へと進歩していった^{3), 4)}。

図2に EFG 法の模式図を示す。

原料融液を収納する容器(るつぼ)内に配置した融液の供給と結晶形状を規定する型(ダイ)を用いて結晶を育成する。るつぼ中の融液はダイのスリットを毛細管現象によって上昇し、ダイ上端部で結晶化し、上部に引き上げられる。育成される結晶の断面形状はダイ上端の形状で規定され、ほぼ同形状となるのが特徴である。よってダイのスリットや上端の形状を工夫することで円柱状や角柱、板、チューブなど、種々の断面形状の結晶育成が容易である。また、ダイに工夫を加えることで複数本を同時に育成することが出来ることも特徴である。

4. 青色・白色 LED 用サファイア基板

GaN 系 III-V 族化合物半導体の結晶成長技術はここ数年の間に飛躍的な進歩を遂げ、緑色・青色・白色 LED (発光ダイオード; Light-emitting diode) などの商品化がなされた。LED 光源は点灯、消灯速度が速い・電球に比べ 50 ~ 100 倍も寿命が長い・1/3 ~ 1/15 の消

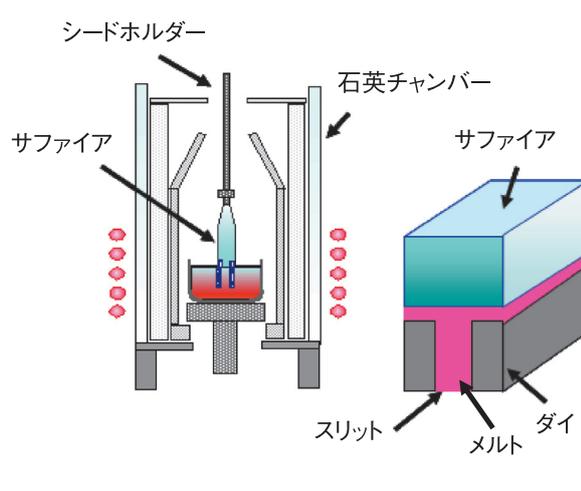


図2 EFG 法の概略図 (右図 ダイ拡大 概念図)

原料融液を収納する坩堝内に配置した融液の供給と結晶形状を規定する型(ダイ)を用いて結晶を育成する。坩堝中の融液(メルト)はダイのスリットを毛細管現象によって上昇し、ダイ上端部で結晶化し、上部に引き上げられる。育成される結晶の断面形状はダイ上端の形状で規定され、ほぼ同形状となるのが特徴である。

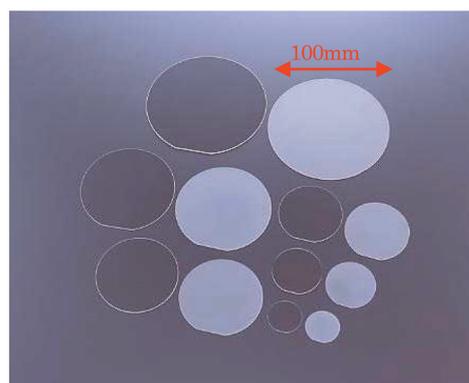


図3 薄膜用サファイア基板

費電力といった特徴も持っている。これら特徴を利用して携帯電話、液晶のバックライトやフルカラー表示の屋外ディスプレイ、玩具、一般照明などに LED の利用が加速的に伸びてきた。

この青色・白色 LED のキー材料である GaN をエピタキシャルするのに必要となる基板が単結晶サファイア基板である。

単結晶サファイアは GaN の格子定数に比較的近いことや、GaN エピタキシャル成長時の環境(約 1200℃)に耐える高温安定性、熱膨張率、化学的安定性など適した特性を有していることや、比較的安価で安定して入手出来ることがスタンダード基板として使用され

ている理由である。

図3に薄膜用サファイア基板の製品写真を示す。

サファイア基板へ要求される項目として基板サイズの大口径化がある。開発当初10mm角より始まったサイズもφ50.8mmへサイズUpしてLED量産がスタートし、現在はさらに大口径の基板が使われるようになって来ている。

良質なGaN結晶膜を得るためには、面方位制御やチップ切断のバラツキを抑えるための軸方位制御が重要である。また、GaN膜の均一性やデバイス回路の形成に影響する基板の反りや平坦度の高精度化も量産していくには重要な要素となる。

5. 液晶プロジェクタ用偏光子保持板

IT(情報技術)革命の飛躍的な進展に伴いPCを活用したプレゼンテーションが盛んになり、液晶プロジェクタに小型で高輝度なものが求められるようになって来たため、偏光子フィルムの放熱対策が大きな課題となっていた。偏光子保持板には、透明で放熱性を高めるための高い熱伝導率を有すること、また熱膨張率が小さく且つ異方性が小さく偏光フィルムへストレスを与えないこと、そして、光学異方性の影響が出ないことが求められる。方位の最適化や効率の生産方法の確立することで、放熱性に優れた偏光板が実現出来、小型で高輝度な液晶プロジェクタが生産されるようになった。図4に液晶プロジェクタ用偏光子保持板の製品写真を、図5に液晶プロジェクタ用光学エンジンの構造図例を示す。

EFG法は板材料にて効率良く育成出来るため、偏光子保持板の様な角形状の基板を効率良く生産でき、安価にすることができる。

6. 将来展望

LEDは今後も技術改善を継続することにより輝度Upや効率向上が期待されている。また、近年の環境問題の深刻化により、省エネが推進できる環境に優しいLEDへの期待は増す一方である。今後、車載用途、一般照明などに本格的に採用されるようになれば、LEDチップの必要数は飛躍的に増加することが予想され、効率良くLEDチップを製造するために、基板サイズの大口径化が求められるようになってくる。また、高周波デバイスに用いられる単結晶サファイア基板上にSiを成膜したSOSに関する研究も盛んに行われており、高周波デバイスに利用されるようになって来た。今後ますますサファイア基板の需要が伸びていくことが期

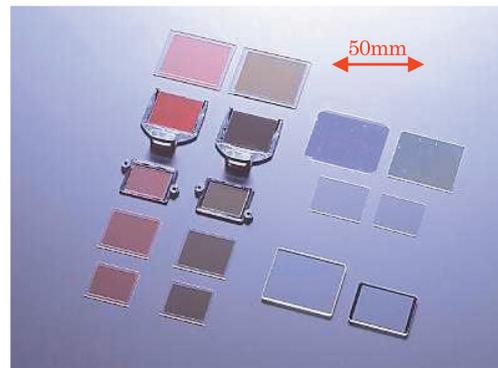


図4 液晶プロジェクタ用偏光子サファイア保持板

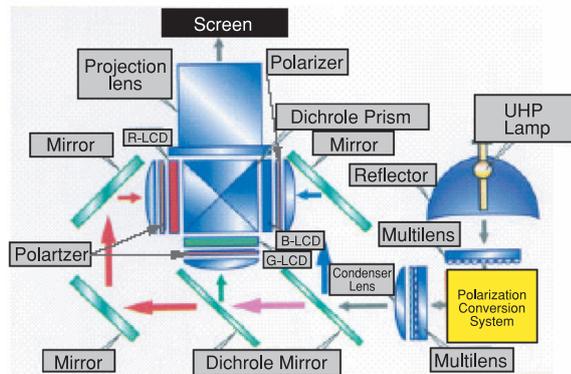


図5 LCDプロジェクタ光学エンジン例(3LCD方式)

原料融液を収納する坩堝内に配置した融液の供給と結晶形状を規定する型(ダイ)を用いて結晶を育成する。坩堝中の融液(メルト)はダイのスリットを毛細管現象によって上昇し、ダイ上部で結晶化し、上部に引き上げられる。育成される結晶の断面形状はダイ上端の形状で規定され、ほぼ同形状となることが特徴である。

待される。

文献

- 1) “結晶成長ハンドブック”, 日本結晶成長学会(1995) pp. 634-636.
- 2) H. E. LaBelle Jr., *Mat. Res. Bull.*, 6, 581 (1971).
- 3) B. Chalmers, H. E. LaBelle Jr., and A. I. Mlavsky, *J. Crystal Growth*, 13/14, 84 (1972).
- 4) H. E. LaBelle Jr., *J. Crystal Growth*, 50, 8 (1980).

[連絡先] 梅原 幹裕
京セラ(株) ファインセラミック事業本部
単結晶事業部
〒527-8555 滋賀県東近江市蛇溝町長谷野1166-6