

OVPE-GaN (高濃度酸素添加 GaN) 結晶黒色化の起源

Origin of black color in OVPE-GaN (heavily O-doped GaN) crystals

パナソニック株式会社¹, 阪大院工²○隅 智亮¹, 滝野 淳一¹, 岡山 芳央¹, 北本 啓², 宇佐美 茂佳², 今西 正幸², 森 勇介²Panasonic Corp.¹, Graduate School of Engineering of Osaka University²,○Tomoaki Sumi¹, Junichi Takino¹, Yoshio Okayama¹, Akira Kitamoto², Shigeyoshi Usami²,Masayuki Imanishi², Yusuke Mori²E-mail: sumi.tomoaki@jp.panasonic.com

縦型 GaN パワーデバイスの電力損失削減のために、低抵抗 n 型 GaN 基板の作製が O や Si をドーピングすることで試みられている。一方でドーピング濃度を増加させると結晶が黒色に着色していた。今回、Oxide Vapor Phase Epitaxy (OVPE) 法により 10^{20} cm^{-3} 程度の高キャリア濃度の様々な着色の結晶が得られ、着色の原因を突き止めるために、結晶の特性の分析を行ったので報告する。

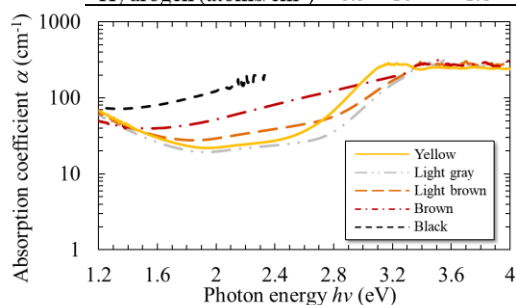
表 I では各結晶の着色、キャリア濃度、不純物濃度を示している。高いキャリア濃度は高濃度の酸素が原因と推定できる。水素濃度は着色が濃い結晶（褐色、黒色）において検出限界以下で、着色の薄い結晶（黄色、淡灰色、淡褐色）では $10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ を超えていた。図 1 の吸収スペクトルでは、バンド端から指数関数的なバンドテイル（アーバックテイル^[1]）が見られた。式(1)よりアーバックエネルギー(E_u)を求めたところ、着色の薄い結晶では 0.3 eV 程度で、着色の濃い結晶では 1 eV 程度だった。Halperin らの理論によると E_u は不純物のイオン価数の二乗と濃度に比例する^[2]。このため着色には、イオン価数が大きく、濃度の高い不純物の影響が大きいと推定される。

ところで、高濃度 n 型 GaN 結晶ではフェルミ準位が伝導帯内に存在している。また、Van de Walle の報告によると Ga 空孔欠陥(V_{Ga})の生成エネルギーはフェルミ準位の増加とともに減少する^[3]。そのため、OVPE-GaN 中では容易に V_{Ga} や $V_{\text{Ga-O}}$ が形成される。さらに、これらの欠陥は 3 価もしくは 2 価のアクセプターであり、 E_u に大きな影響を与える。また、 V_{Ga} は水素が結晶中に取り込まれる際に複合欠陥を形成しやすく、その際に価数が減少する^[3]。これらのことから、水素原子が高濃度 n 型 GaN 結晶に取り込まれると、 V_{Ga} や $V_{\text{Ga-O}}$ との水素複合欠陥が形成され、価数が下がるので、 E_u が低下し結晶の着色が低減されたと考えられる。

以上より、高濃度ドーパ n 型 GaN の黒色化は V_{Ga} や $V_{\text{Ga-O}}$ の影響が大きいと考えられる。

Table I Crystal colors, carrier densities and impurity concentrations.

Crystal color	Lightly colored group			Heavily colored group	
	Yellow	Light gray	Light brown	Brown	Black
Carrier density (cm^{-3})	1.28×10^{20}	9.57×10^{19}	1.20×10^{20}	7.34×10^{19}	6.52×10^{19}
Oxygen (atoms/ cm^3)	1.9×10^{21}	7.1×10^{20}	7.2×10^{20}	4.4×10^{20}	4.3×10^{20}
Silicon (atoms/ cm^3)	4.0×10^{18}	5.1×10^{18}	8.9×10^{18}	4.4×10^{18}	9.4×10^{18}
Carbon (atoms/ cm^3)	$<2.1 \times 10^{16}$	$<6.0 \times 10^{15}$	$<6.6 \times 10^{15}$	$<1.1 \times 10^{16}$	$<2.6 \times 10^{15}$
Hydrogen (atoms/ cm^3)	6.5×10^{19}	1.8×10^{19}	1.4×10^{19}	$<1.7 \times 10^{17}$	$<1.2 \times 10^{17}$



$$\alpha(h\nu) = A \exp\left(-\frac{E_g - h\nu}{E_u}\right) \quad \text{for } h\nu < E_g \quad \dots(1)$$

α : Absorption coefficient
 A : A constant
 E_g : Band gap energy
 E_u : Urbach energy
 h : Planck's constant
 ν : Photon frequency

Fig. 1 The absorption profiles of OVPE-GaN crystals.

参考文献 [1] F. Urbach, Phys. Rev. **92**, 1324 (1953).[2] B. I. Halperin *et al.*, Phys. Rev. **148**, No. 2, 722 (1966).[3] C. G. Van de Walle, Phys. Rev. B **56**, 10020 (1997).

謝辞 本研究の一部は環境省委託事業「未来のあるべき社会・ライフスタイルを創造する技術イノベーション事業」の成果である。