

次世代パワー半導体ダイヤモンド単結晶の シンクロトロン X 線トポグラフィー観察

嘉数 誠

佐賀大学 大学院工学系研究科、佐賀大学グリーン・エレクトロニクス研究所

ダイヤモンドはワイドギャップ半導体であり、次世代パワー半導体材料として注目されているが、結晶中の欠陥はデバイスのリーク電流の発生や耐電圧の低下に繋がり、その低減化が課題である。これまで高温高圧 (HPHT) 成長 IIa タイプ単結晶や CVD 成長単結晶試料の X 線トポグラフィーの報告例はあるが、欠陥の種類や生成機構に関しては明らかになっていない~~について~~。そこで本研究ではシンクロトロン光を用いた X 線トポグラフィー観察を行い、HPHT 合成結晶の欠陥の導入メカニズムを明らかにしたので報告する。

観察したダイヤモンド試料は、HPHT 法により成長した極めて低転位密度のタイプ IIa 型単結晶の板状のものである ($5.4 \times 5.3 \times 0.7 \text{ mm}^3$ (001) 面方位) である。X 線トポグラフィー観察は九州シンクロトロン光研究センター (SAGA-LS) のビームライン BL09A で行った。本研究では、透過配置で、X 線エネルギー 14.6 keV (波長 0.85 Å) で、 $[\pm 2 \pm 20]$ の等価の 4 つの回折面で観察を行った。

図 1 に $[-220]$ と $[-2-20]$ 回折の X 線トポグラフィー像を示す。図 (a) の $g_1 = [-220]$ では転位は中心近くから横方向に分布し、図 (b) の $g_2 = [-2-20]$ では中心付近から縦方向に分布していることがわかる。バーガーズベクトル \mathbf{b} と \mathbf{g} ベクトルが $\mathbf{b} \cdot \mathbf{g} = 0$ のとき転位が消滅することから、図 (a) で観察され、図 (b) で消滅する転位は $\mathbf{b} = a/2[-110]$ で、図 (b) で観察され、図 (a) で消滅する転位は $\mathbf{b} = a/2[-1-10]$ と求められた。また中心付近の転位は (001) セクター内にあり転位方向 $\mathbf{t} = [001]$ であり、また周辺付近の転位は (111) セクター内にあり $\mathbf{t} = [-1-12]$ であることから、 \mathbf{b} と転位線の方向 \mathbf{t} の関係性から、前者が刃状転位、後者が 45° 混合転位と同定した。

謝辞 本研究でご指導いただく SAGA-LS 石地耕太郎博士、川戸清爾博士、実験に協力いただいた佐賀大学大学院、村上竜一君、榊谷聡士君、原田和也君に感謝します。本研究の一部は NEDO、科研費、九州技術産業局事業、マツダ財団から援助を頂きました。

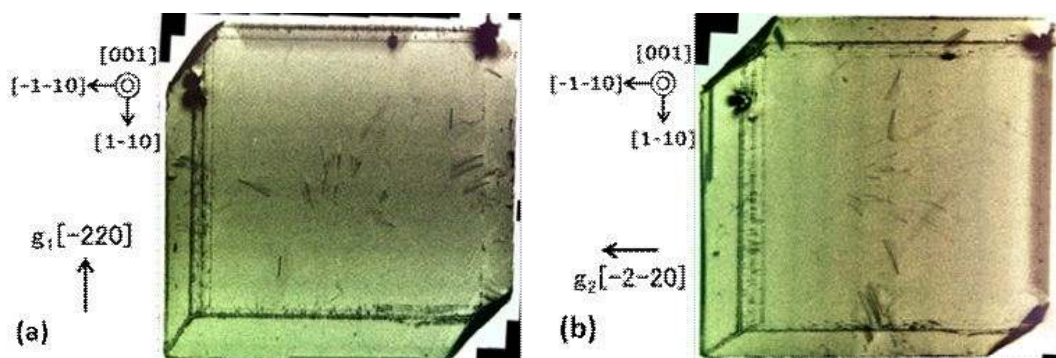


Fig.1 X-ray topography image of the HPHT crystal $[-220]$ and $[-2-20]$ diffraction

次世代パワー半導体ダイヤモンド単結晶の シンクロtronX線トポグラフィー観察

嘉数 誠、村上 竜一

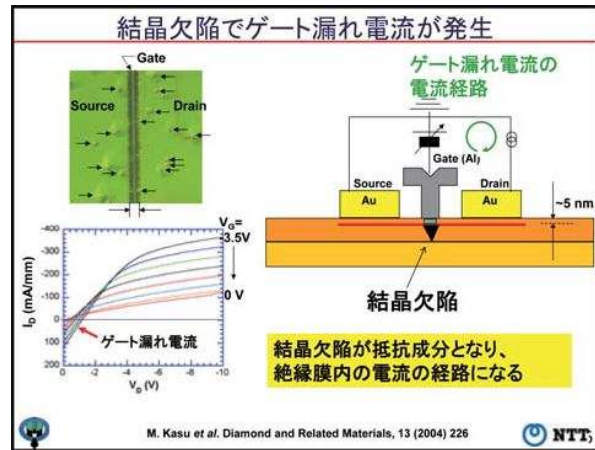
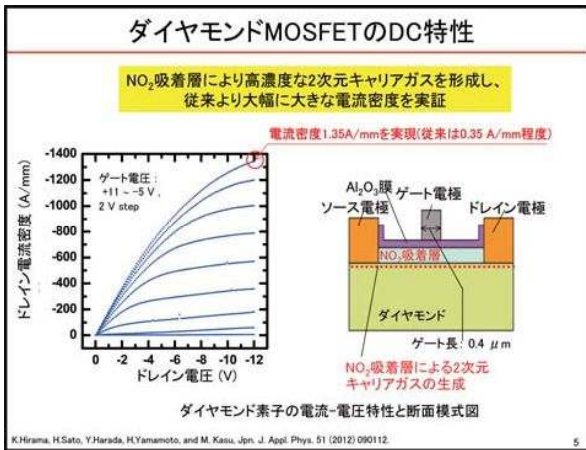
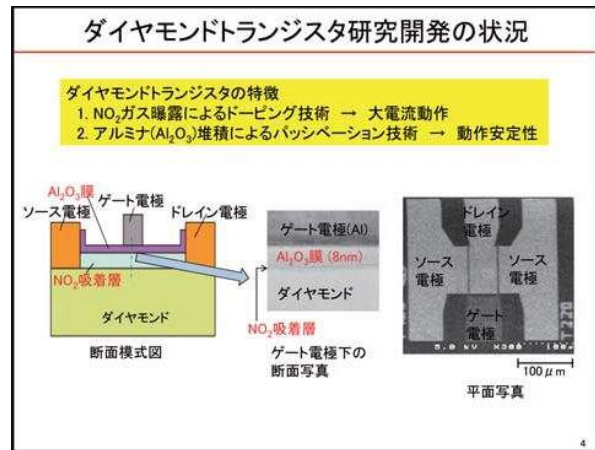
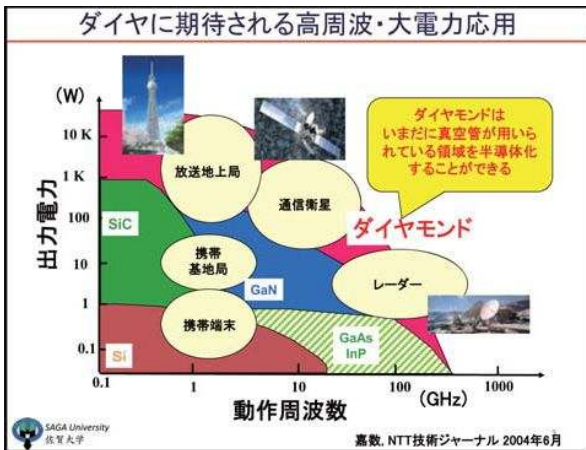
佐賀大学グリーンエレクトロニクス研究所
佐賀大学大学院 工学系研究科

半導体の物性値と電力デバイス性能

材料	禁制帯幅 Material E_g (eV)	絶縁破壊電界 E_{BR} (MV/cm)	飽和速度 v_{sat} ($\times 10^7$ cm/s)	移動度 μ (cm^2/Vs)	比誘電率 ϵ_r	熱伝導率 λ (W/cmK)
Diamond	5.47	>10	1.5 (e) 1.1 (h)	~ 4500 (e) ~ 3800 (h)	5.7	22
GaN	3.42	3	2.4 (e)	~ 2000 (e)	8.9	1.5
SiC	3.26	2.8	2.2 (e)	~ 1000 (e)	9.7	4.9
Si	1.12	0.3	1.0 (e)	~ 1350 (e)	11.9	1.5

Baligaデバイス性能指数 (高効率・電力性能) $BFOM = \epsilon \cdot \mu \cdot E_{BR}^3$
 $\frac{Diamond}{SiC} \approx 100$

Johnson デバイス性能指数 (高周波電力性能) $JFOM = \left[\frac{E_{BR} \cdot v_{sat}}{2\pi} \right]^2$
 $\frac{Diamond}{SiC} = 3.2$



実験方法

九州シンクロtron光研究センター-BL09Aのシンクロtron放射光

最大光子エネルギー 4 keV
ビームサイズ 100 mm(幅)×15 mm(高さ)

7

高純度タイプ II aのHPHT合成結晶a

少し転位欠陥を残した結晶

結晶種類	HPHT
色	白色
X線強度	6.86 A
X線エネルギー	14.59 keV
面群	(1-220)
ゴニオメーター角度	38.3°
ゴニオメーター傾斜角	40.0°
撮影サイズ	透過

11

結晶(a-2)の転位の拡大像

干渉縞(フリンジ)

X線入射側

X線出射側

X線入射側から出射側にかけて、干渉縞(フリンジ)が見える。
フリンジは均一性の高い結晶で、X線が多重反射して起こる現象

12

結論

- HPHT成長ダイヤモンド単結晶のシンクロtronX線トポグラフィー観察を行った。
- 様々なgベクトル条件下の像コントラストから、パーガーズベクトルを決定し、転位の種類を同定した。
- HPHT成長ダイヤモンド単結晶では、成長セクターに従って、刃状転位と混合転位の種類が存在することがわかった。
- CVD成長ダイヤモンド単結晶は、基板界面から転位の束が発生していることがわかった。

10