

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

梶谷聡士¹、森林朋也¹、大島孝仁¹、嘉数 誠¹、角谷 均²

1)佐賀大学大学院工学系研究科、2)住友電工アドバンストマテリアル研究所

ダイヤモンドはバンドギャップ 5.47eV のワイドギャップ半導体であり、高絶縁破壊電界、高キャリア移動度など優れた物性値から、次世代のパワーデバイスとして期待されている。しかし、基板中の結晶欠陥はデバイス応用上、リーク電流の発生や耐圧の低下の原因となり課題であるため、シンクロトロン光を用いた X 線トポグラフィーでダイヤモンド単結晶の結晶欠陥の観察を行い、欠陥の同定、発生機構の解明を行っている。

高温高压合成(HPHT)の低転位密度 IIa 型ダイヤモンド単結晶を九州シンクロトロン光研究センターのビームライン BL09 で X 線トポグラフィー観察した。測定では分光器で単色化した X 線をラウエ配置した試料に入射し、透過像を撮影した。

様々な回折条件で測定したトポグラフ像を比較し、欠陥コントラストの消滅則を用いて欠陥ベクトルを同定した。この結果から、転位や積層欠陥の種類を同定した[2, 3]。

[1] H. Sumiya, K. Tamasaku, Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 090102.

[2] M. Kasu, R. Murakami, S. Masuya, and H. Sumiya, Appl. Phys. Express 7 (2014) 125501.

[3] S. Masuya, K. Hanada, T. Uematsu, T. Moribayashi, H. Sumiya, M. Kasu, Jpn. J. Appl. Phys. 55. (2016) 040303



パワー半導体ダイヤモンド単結晶の結晶欠陥のシンクロトンX線トポグラフィー観察

榎谷 聡士¹, 森林 朋也¹, 大島 孝仁¹, 嘉数 誠¹, 角谷 均²

1) 佐賀大学大学院工学系研究科

2) 住友電工アドバンスドマテリアル研究所

Email: 16634013@edu.cc.saga-u.ac.jp

はじめに

ダイヤモンドは表1に示すように禁制帯幅5.47eVのワイドギャップ半導体であり、高い絶縁破壊電界やキャリア移動度などの優れた物性値から、次世代の高効率・低損失パワーデバイスとして期待されている。

しかし、基板結晶中の格子欠陥はデバイス動作時にリーク電流の発生や耐圧低下の原因となり、課題である[1]。

そのため、我々はシンクロトン光を用いたX線トポグラフィーでダイヤモンド単結晶の結晶欠陥の観察と同定を行い、欠陥生成機構の解明や低減化を目指した研究を行っている。

表1. 各半導体材料の物性値と電力デバイス性能

Material	Band gap E_g [eV]	Breakdown field E_{BR} [MV/cm]	Mobility μ [cm^2/Vs]	Saturation velocity v_{sat} [$\times 10^8 \text{cm/s}$]	Relative dielectric constant ϵ_r	Thermal conductivity λ [W/cmK]	JFOM	BFOM
Diamond	5.47	>10	4500 (e) 3800 (h)	1.5 (e) 1.1 (h)	5.7	22	1340 (h)	50000 (h)
GaN	3.42	3	2000	2.4	8.9	1.5	580	1100
SiC	3.26	2.8	1000	2.2	9.7	4.9	420	490
Si	1.12	0.3	1350	1.0	11.9	1.5	1	1

実験手法

観察を行ったのは、図1に示すように(001)面の種結晶から高温高压合成を行ったIIa型ダイヤモンド単結晶である[2]。

成長面を主面にした(001)面結晶と、断面にスライスした(110)面結晶をそれぞれ観察した。

X線トポグラフィー観察は九州シンクロトン光研究センター(SAGA-LS)のビームラインBL09で行った。本実験で用いたX線トポグラフィー装置の構成図を図2に示す。ビームラインに入射されたシンクロトン光はモノクロメータによって単色化された後、観察試料へ照射される。試料中でブラッグ反射したX線をX線フィルムで検出した。

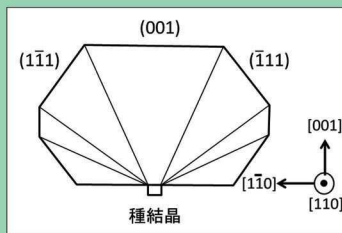


図1. HPHT法によるダイヤモンド単結晶の成長

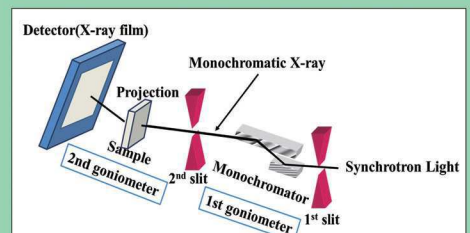


図2. X線トポグラフィー装置の概略図

実験結果

(001)面結晶による転位の同定

転位のバーガーズベクトル**b**と回折ベクトル**g**の関係が

$b \cdot g = 0$ の場合、転位は出現し
 $b \cdot g \neq 0$ の場合、転位は消滅する

この原理を用いて、転位のバーガーズベクトルをそれぞれ同定出来る。

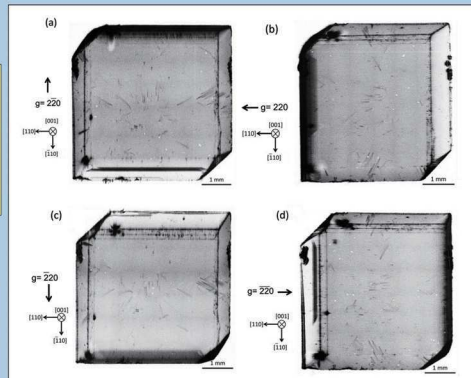


図3. (001)ダイヤモンド単結晶のX線トポグラフ像

表2. (001)ダイヤモンド単結晶の転位の同定結果

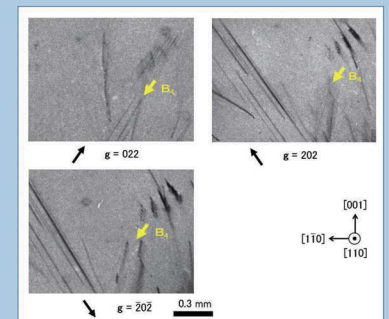
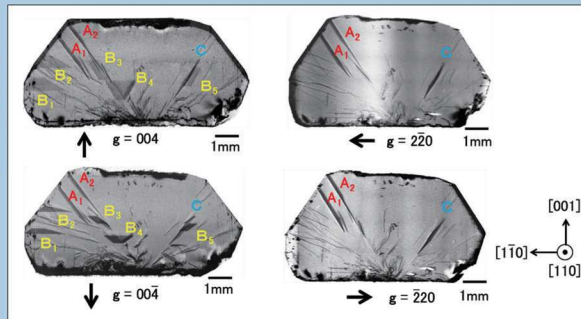
Group	g	Image contrast	b	Growth sector	t	Dislocation type
A	220	visible	$\frac{a}{2} [110]$	(111)	[111]	edge
	220	invisible				
	220	visible				
	220	invisible				
B	220	visible	$\frac{a}{2} [110]$	(001)	[001]	edge
	220	invisible				
	220	visible				
	220	invisible				
C	220	visible	$\frac{a}{2} [101]$ or $\frac{a}{2} [10\bar{1}]$ or $\frac{a}{2} [011]$ or $\frac{a}{2} [0\bar{1}1]$	(001)	[001]	mixed
	220	visible				
	220	visible				
	220	invisible				
D	220	visible	$\frac{a}{2} [110]$	(111)	[111]	edge
	220	invisible				
	220	visible				
	220	invisible				
E	220	invisible	$\frac{a}{2} [110]$	(111)	[111]	edge
	220	visible				
	220	invisible				
	220	visible				

(110)面結晶による積層欠陥の同定

積層欠陥の消滅則

$f \cdot g = 0$ の場合、積層欠陥 出現
 $f \cdot g \neq 0$ の場合、積層欠陥 消滅
から**f**ベクトルを同定。

積層欠陥に付随する部分転位のバーガーズベクトルを同定。
 $b = a/6 \langle 211 \rangle$ よりショックレー型部分転位であることがわかった。
従って、これらの積層欠陥はショックレー型積層欠陥と同定した。



結論

- ✓ HPHTダイヤモンド単結晶を、シンクロトン光を用いたX線トポグラフィー観察し、結晶欠陥の観察と同定を行った。
- ✓ (001)面結晶において、{111}成長セクターには刃状転位が、{001}成長セクターには刃状転位と混合転位がそれぞれ導入していた。
- ✓ (110)面結晶において、積層欠陥のすべり面を導入し、部分転位のバーガーズベクトルからショックレー型積層欠陥と同定した。

参考文献

- [1] M. Kasu, *et al.*, *Diamond and Related Materials*, 13 (2004) 226.
- [2] H. Sumiya, *et al.*, *Japanese Journal of Applied Physics*, 51 (2012) 090102.
- [3] M. Kasu, *et al.*, *Applied Physics Express*, 7 (2014) 125501.
- [4] S. Masuya, *et al.*, *Japanese Journal of Applied Physics* 55, (2016) 040303.

本研究を遂行するにあたり、貴重な助言を頂いた石地耕太郎博士、川戸清爾博士(SAGA-LS)、大石敏之教授(佐賀大学)に感謝申し上げます。本研究は科研費(15H03977)による助成および九州大学応用化学研究所との共同研究により行われました。