

シンクロトロン X 線トポグラフィーによる ワイドギャップ半導体ダイヤモンド単結晶の格子欠陥の観察

榎谷聡士, 嘉数 誠

佐賀大学大学院工学系研究科

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, 絶縁破壊電界や熱伝導率, キャリア移動度などの物性値も優れており, 次世代のパワー半導体として期待されている. しかし, 基板結晶中の結晶欠陥はリーク電流の発生や, 耐圧低下などの原因となり, これらの低減が課題である. そのため我々は X 線トポグラフィーにより, ダイヤモンド結晶中の結晶欠陥の観察と同定を行ってきた.

X 線トポグラフィーの測定は九州シンクロトロン光研究センターの BL09 で行った. 高温高圧法により作製した低転位密度のダイヤモンド単結晶を透過 Laue 配置, 反射 Bragg 配置で測定した. 回折ベクトルを変化させることで欠陥コントラストが変化している. この欠陥コントラストの消滅則を用いて転位のバーガーズベクトルを求めた. この結果から, 転位や積層欠陥の種類を同定することが出来た. [1-3]

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

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

[3] S. Masuya, K. Hanada, T. Moribayashi, H. Sumiya, M. Kasu, Journal of Crystal Growth, 468 (2017) 439



シンクロtronX線トポグラフィーによる ワイドギャップ半導体ダイヤモンド単結晶の格子欠陥の観察

梶谷 聡士, 嘉数 誠
佐賀大学大学院工学系研究科
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tron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[2, 3]。

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

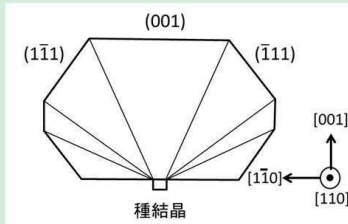
実験手法

● HPHT結晶の部分転位の観察と積層欠陥の同定

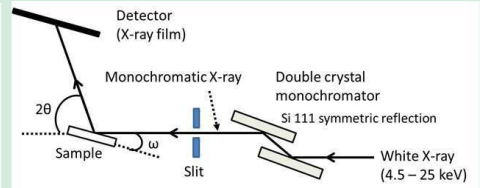
高温高压合成ダイヤモンド単結晶の観察。
(001)面種結晶を用いたIIa型高品質結晶。
(001)面を主面とした結晶を断面にスライスした(110)面を観察。

● (111)CVD結晶の転位の同定とエッチピットとの関係

X線トポグラフィーにより転位を同定
O₂/H₂プラズマエッチングにより転位によるエッチピットを形成し、転位による構造の違いを明らかにした。



HPHT法によるダイヤモンド単結晶の成長
(001)面の種結晶から成長



X線トポグラフィー装置の概略図
SAGA-LS BL09で測定
透過Laue配置及び反射Bragg配置で測定
(図は反射Bragg配置)

実験結果

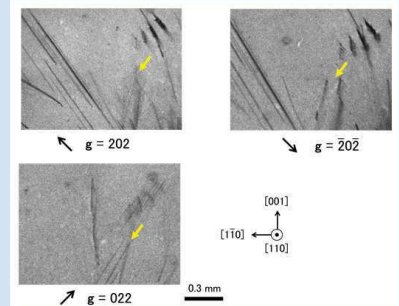
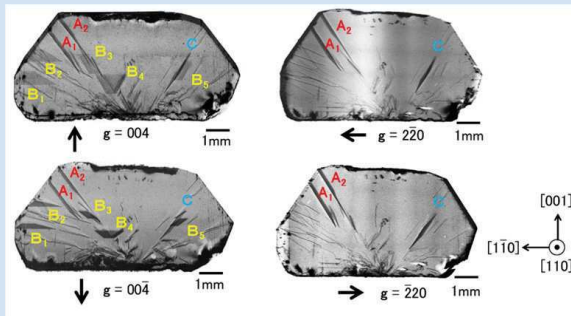
● HPHT結晶の部分転位の観察と積層欠陥の同定

積層欠陥の消滅則

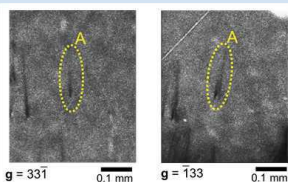
$f \cdot g = 0$ の場合、積層欠陥 出現
 $f \cdot g \neq 0$ の場合、積層欠陥 消滅
からベクトルを同定。

積層欠陥に付随する部分転位のパ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[3]。

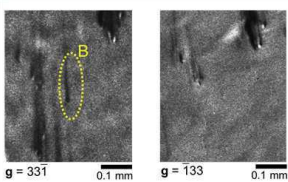


● (111)CVD結晶の転位の同定とエッチピットとの関係

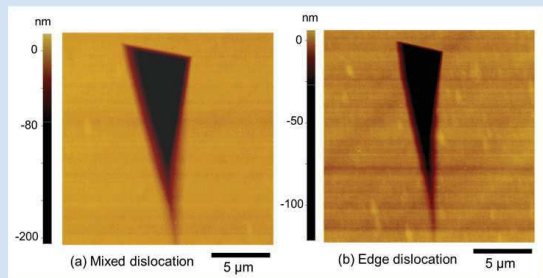


転位の消滅則

$b \cdot g = 0$ の場合、転位像 出現
 $b \cdot g \neq 0$ の場合、転位像 消滅
からbベクトルを同定。



Dislocation	A	B	
XRT	331	Visible	Visible
	133	Visible	Invisible
Diffraction vector g	333	Visible	Visible
	111	Visible	Invisible
Burgers vector b	$a/2[011]$	$a/2[0\bar{1}1]$	
Direction	[111]	[111]	
Dislocation type	Mixed dislocation	Edge dislocation	



(a)は転位A(混合転位), (b)は転位B(刃状転位)によるエッチピットのAFM像。

✓ 刃状転位によるエッチピットは形状が細く、深さが浅いことがわかった。
✓ 転位の構造により、形成されるエッチピットの形状が異なることがわかった

結論

- ✓ (110)面結晶において、積層欠陥のすべり面を導出し、部分転位のパ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。
- ✓ (111)CVDダイヤモンド単結晶の転位を $b \cdot g$ 消滅則から同定し、刃状転位と混合転位であることがわかった。
- ✓ 転位により形成されたエッチピットを観察し、転位の構造によりエッチピットの形状が異なることがわかった。

参考文献

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

本研究を遂行するにあたり、ご指導頂いた石地耕太郎博士(SAGA-LS)に感謝申し上げます。本研究は科研費(15H03977)による助成により行われました。