

エピ成膜したOn axis SiCの X線トポグラフィー観察

九州シンクロトン光研究センター 石地耕太郎
名古屋工業大学 加藤正史

はじめに

3Cの特性を生かすため、3C結晶成長が研究

	3C-SiC	4H-SiC
Crystal structure	Cubic a = 0.435 nm	Hexagonal a = 0.308 nm c = 1.005 nm
Band gap (eV)	2.2	3.2
Mobility (cm ² /Vs)	1000	1000
Breakdown (MV/cm)	1.5	2.8

表1 3C-SiCと4H-SiCの物性比較

3C-SiCの特徴

- 低温で安定
- P型化が容易 → CMOS構造が可能
- MOSFETのチャネル移動度が4Hの数倍(200 cm²/Vs超)

3C-SiCの作製法

- 溶液成長
- CVDによるエピ成膜(基板: Si, 黒鉛, On-axis 4H-SiC)

On-axis 4H-SiC(0001)基板を入手し、エピ成膜。4H上への3C成膜はヘテロ成長なので、結晶欠陥・歪みが生じると予測。今回、X線トポグラフィーで欠陥構造を観察。

実験

3C構造と4H構造の回折をそれぞれ観察

■ Sample

On-axis 4H-SiC(0001)基板の上にエピ成膜(10, 30 μm)

→ エピ膜30 μm の試料(名工大)は3Cのみ成膜

→ エピ膜10 μm の試料(SAGA-LS)は4Hと3Cが混合

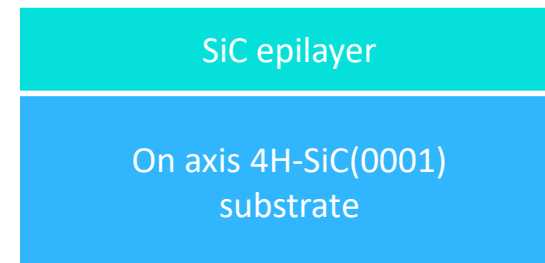


図1 試料のイラスト

■ Experiment

G vector	E (keV)	2 θ (deg)	ω (deg)	t_{obs} (μm)*
<11-28>(4H)	9.4	85.5	3	10
<11-28>(4H)	7.5	116	20	25
<0-2210>(4H)	10	101	14	45
<-115>(3C)	11.2	84	3	15

表1 X線トポグラフィー条件 [* JJAP 56, 106601(2017)]

3Cエピ膜試料の欠陥構造

全面3Cエピ膜試料の欠陥構造を観察

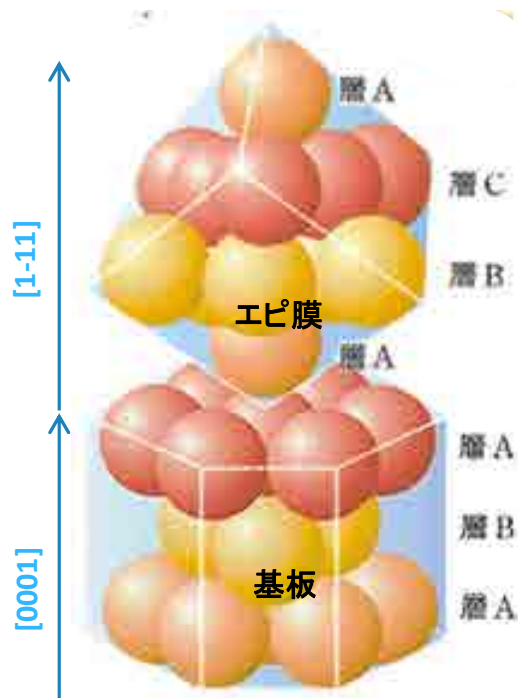


図3 3C on 4H構造のイメージ

参考: <http://sekatsu-kagaku.sub.jp/crystal.htm>

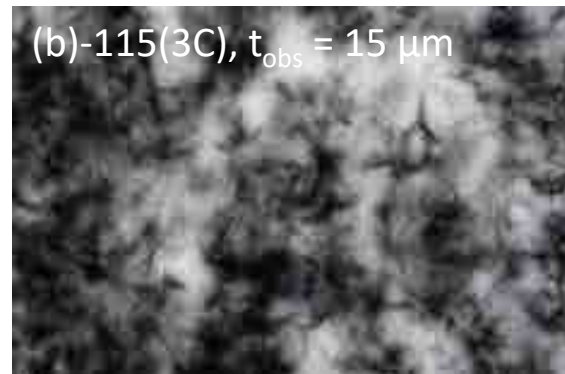
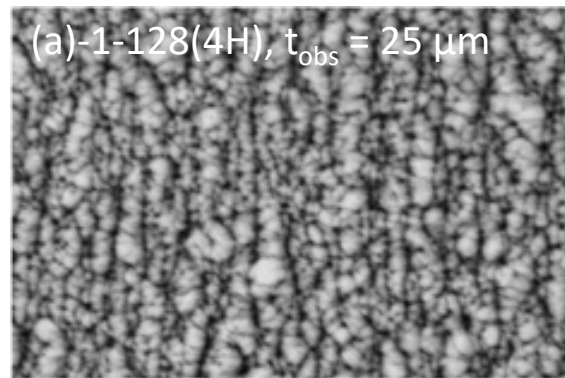
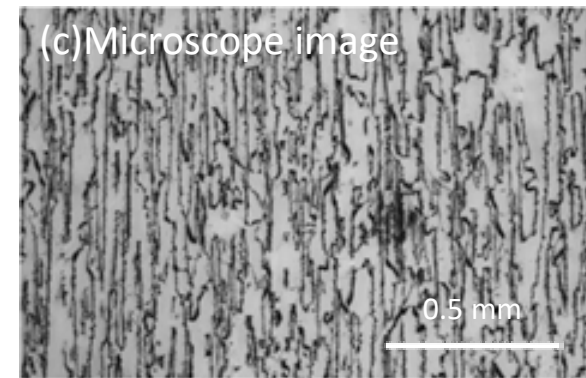


図4 全面3Cエピ膜試料の欠陥構造

(a)基板-1-128(4H)

(b)エピ膜1-15(3C)

(c)表面の顕微鏡像



- エピ膜: 全体的にもやもや。高転位密度(数万/cm²)。
- 基板: 網目状の歪み場。3C/4H界面の整合のために発生。
- エピ膜の3C構造がドメインを形成し、網目状に成長。網目はDPBと考えられる。

3C/4H混合エピ膜試料の欠陥構造(1)

3C/4H混合エピ膜試料の4H側の欠陥構造を観察

- 3Cが島状にあちこちに分布
- 3C島を囲むよう円弧状欠陥発生
- 円弧状欠陥は $\langle 0\text{-}2210 \rangle$ で消滅せず

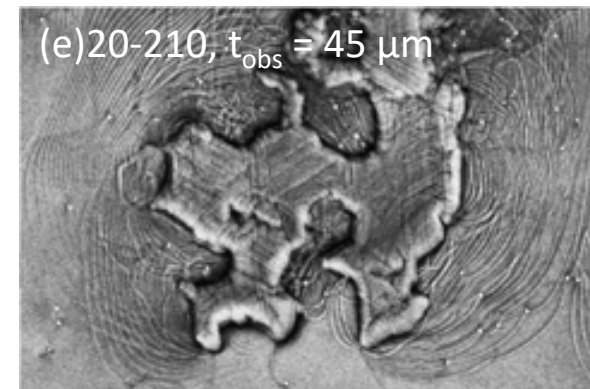
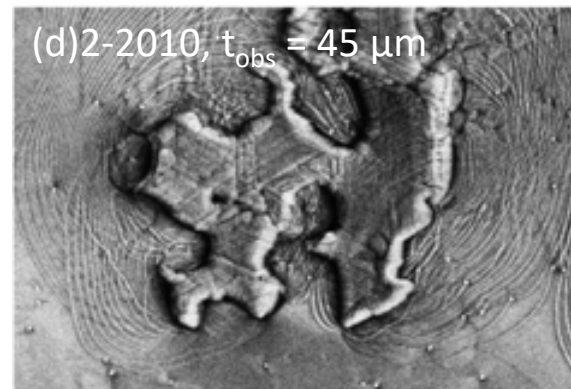
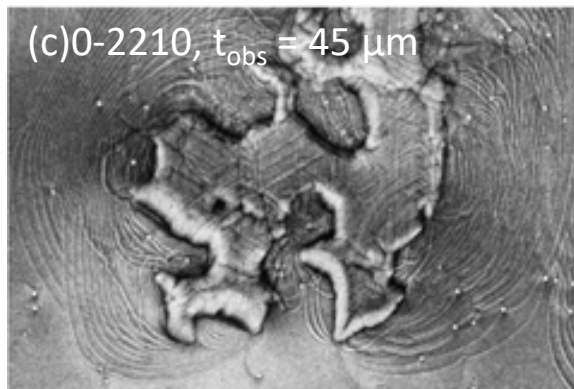
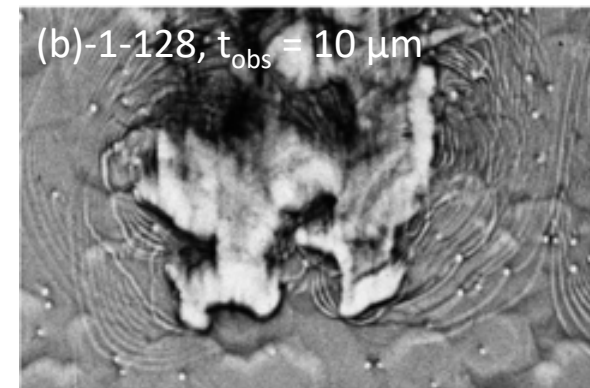
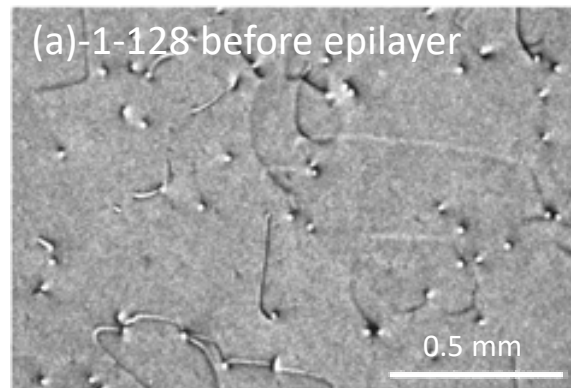


図2 エピ膜10 μm 試料(SAGA-LS試料)の4H側の欠陥構造

3C/4H混合エピ膜試料の欠陥構造(2)

3C/4H混合エピ膜試料の3C側の欠陥構造を観察

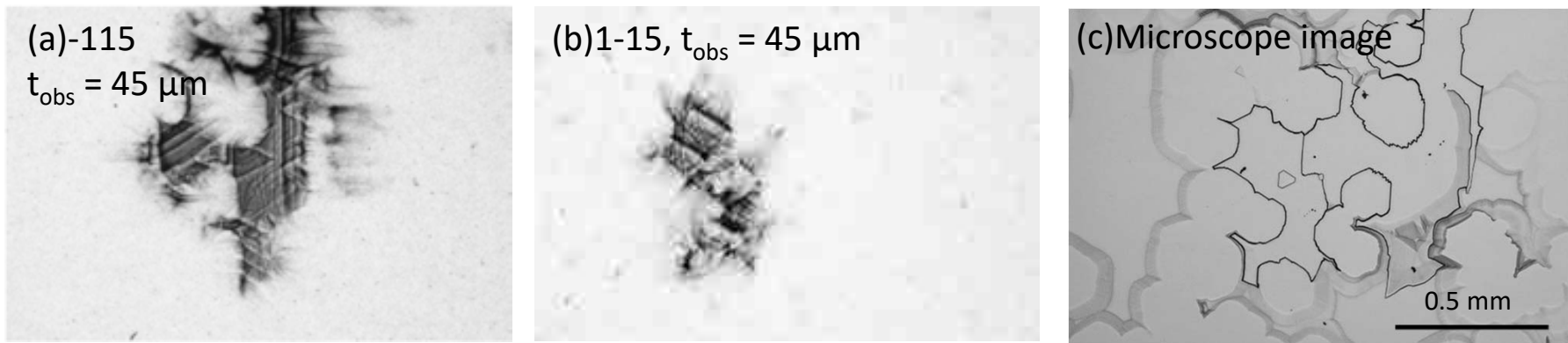
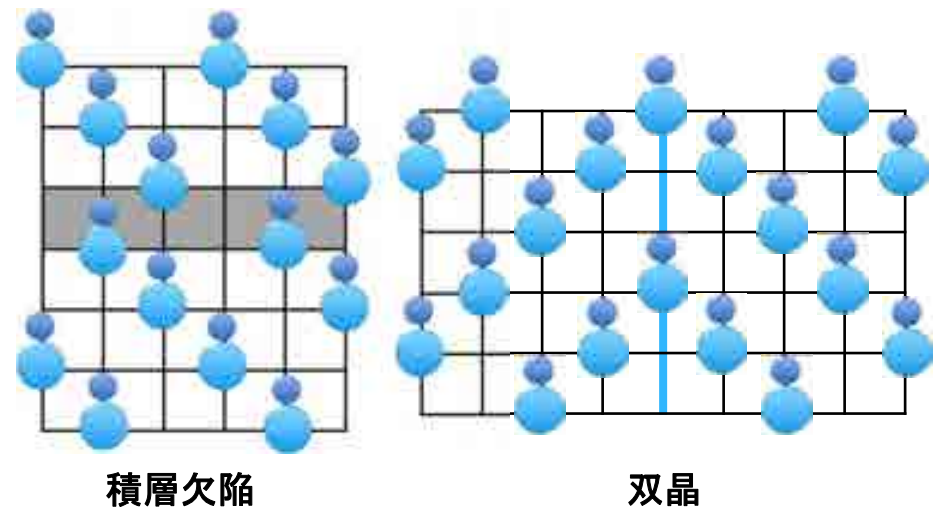


図4 3C/4H混合エピ膜試料の3C側の欠陥構造 (a)-115, (b)1-15, (c)表面の顕微鏡像

- オフ角が少しあり、ステップに吸着原子が取り込まれ、4Hが混合。
- 3C内は線状の積層欠陥。
- -115と1-15を合わせれば、4H構造の白抜き部分と一致。双晶成長。



まとめ

On-axis 4H-SiC(0001)基板上的のエピ膜構造をX線トポグラフィーで評価

- 4H-SiC(0001)基板上的のエピ層では、3C-SiC(1-11)が成長。
- 3C-SiCエピ膜は双晶成長。

全面3Cエピ膜試料

- 3Cエピ膜は転位密度が高く、解析は困難。
- 4H基板側に3Cのドメイン構造の歪み場が伝播。

3C/4H混合エピ膜試料

- 3Cが島状に分布。わずかにオフ角があり、3C/4H構造が共存。
- 3C島を囲むような円弧状欠陥。純粹な $b = \langle 11-20 \rangle$ ではなく、らせん転位同士を結ぶ。混合化？
- 3C構造内には、積層欠陥が多数発生。

同じOn-axis 4H-SiC上へのエピ成膜だが、わずかなオフ角で構造が異なる。
3C/4H混合エピ膜の円弧状欠陥について、PLやTEMなどで特徴を調査。