HVPE-GaN バルク結晶におけるa及び$a+c$タイプ貫通転位の 3 次元的伝播挙動の解析

Analysis for three-dimensional propagation behaviors of a and $a+c$ types threading dislocations in HVPE-grown GaN bulk crystals

阪大院基礎工 [1]，阪大院工 [2]　○(D2) 濱地 威明 [1]，藤平 哲也 [1]，林 侑介 [1]，
今西 正幸 [2]，森 勇介 [2]，酒井 朗 [1]
Grad. Sch. of Eng. Sci., Osaka Univ.[1], Grad. Sch. of Eng., Osaka Univ.[2]
°T. Hamachi[1], T. Tohei[1], Y. Hayashi[1], M. Imanishi[2], Y. Mori[2], and A. Sakai[1]
E-mail: u679849k@ecs.osaka-u.ac.jp

【背景】GaN 系デバイスの信頼性向上には，GaN 基板中の貫通転位密度を低減することが重要である．一般的に GaN 基板中の転位は，大多数が$\boldsymbol{a}$及び$\boldsymbol{a}+\boldsymbol{c}$タイプのバーガースベクトル$\boldsymbol{b}$を有するため，転位密度の低減にはこれらの伝播挙動を理解し，制御することが求められる．しかし，バルク基板における転位挙動の詳細は未だ解明されていない点が多い．今回我々は，ハイドライド気相成長法（HVPE）で育成した GaN バルク結晶において，特に，$\boldsymbol{b}=1\boldsymbol{a}$及び$\boldsymbol{b}=1\boldsymbol{a}+1\boldsymbol{c}$を有する貫通転位の 3 次元的な傾斜伝播挙動と，それに及ぼすヒロックの影響について解析した．

【実験】Na-flux-GaN 上に育成した HVPE-GaN バルク結晶の c 面に，化学エッチングで貫通転位起因のエッチピット(EP)を形成した．透過電子顕微鏡を用いた大角度収束電子回折法(LACBED)により各 EP 下にある転位のバーガースベクトルを同定し，多光子励起顕微鏡（MPPL）による，結晶内部の貫通転位の 3 次元的形態観察をもとに，それらの伝播挙動を解析した．

【結果および考察】LACBED 解析より，EP サイズと転位のバーガースベクトルは 1 対 1 の関係にあることが分かった．図 1(a)は転位の 3 次元 MPPL 像である．ここでは EP サイズとの対応付けで判明した$\boldsymbol{b}=1\boldsymbol{a}$及び$\boldsymbol{b}=1\boldsymbol{a}+1\boldsymbol{c}$の貫通転位に着目した．直線的な貫通転位が深さ約 111 μm から表面まで伝播する際の変位を個々に解析した結果，$\boldsymbol{b}=1\boldsymbol{a}$の転位は多様な方向に伝播する一方，$\boldsymbol{b}=1\boldsymbol{a}+1\boldsymbol{c}$の転位は，より大きな傾斜角で a 方向に伝播する傾向がある（図 1(c)）．また，図 1(c)における$\boldsymbol{b}=1\boldsymbol{a}$の転位のプロット密度をマップ化し，その挙動を詳細に調べると，転位の傾斜方向は，図 1 (d)の緑，赤，青点線囲みで示すように分布し，6 回対称性（赤）または 12 回対称性（青）を有することを見出した．MPPL 像からは，この観察領域には，六角錐形状のヒロックが存在することが判明した．ヒロック中心に対する相対的な転位位置の分布及びその傾斜方位を調べた結果（図 1(b)），$\boldsymbol{b}=1\boldsymbol{a}$の転位はヒロック中心から放射状に傾斜する傾向があり，その伝播挙動にヒロックの面傾斜が強く影響することが示唆された．当日はこれらの転位の傾斜特性とバーガースベクトルの関連性や，弾性論に基づく解析との比較についても議論する．

謝辞：本研究は JST の ALCA（JPMJAL1201）と JSPS 科研費（JP16H06423）の助成を得て行われた．

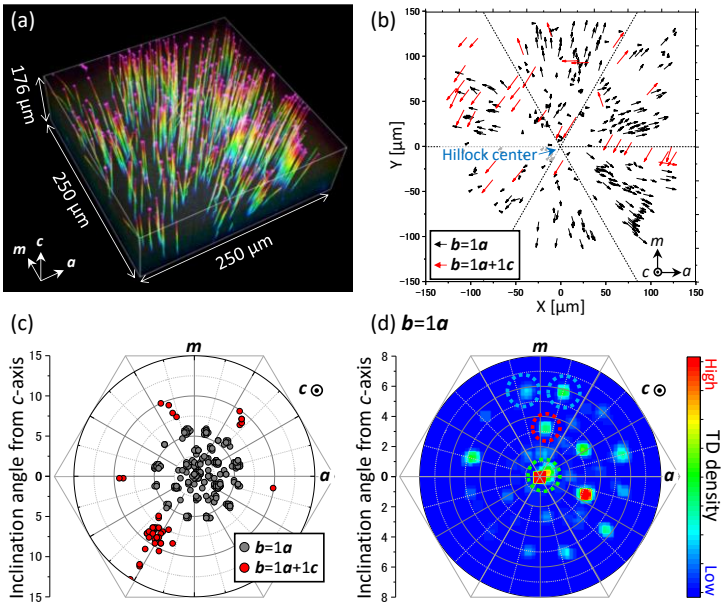

Fig. 1. (a) 3D-image of threading dislocations (TDs) obtained by MPPL. (b) Projected map and (c) displacement distribution of linear TDs with $\boldsymbol{b}=1\boldsymbol{a}$ and $\boldsymbol{b}=1\boldsymbol{a}+1\boldsymbol{c}$ propagating from 111-μm-depth to EPs on the surface shown in (a). (d) Distribution map of inclination directions of TDs with $\boldsymbol{b}=1\boldsymbol{a}$ shown in (c).

© 2020年 応用物理学会