

## 12. 貫通らせん転位のX線トポグラフ法による観察

はじめに

連載 11 では、通称貫通らせん転位と呼んでいる転位には  $\mathbf{b}=\pm[0001]$ 、 $\mathbf{b}=\pm[0001] + 1/3\langle 11\bar{2} 0 \rangle$ 、 $\mathbf{b}=\pm[0001] + \langle 1\bar{1} 00 \rangle$ などが混在していることを示しました。今回は、いわゆるX線ベルク・バレット法による観察で貫通転位がどのように観察されているかを示します。

### 透過X線トポグラフ法による観察

放射光を用いて Si224 非対称反射によって平行化した波長 0.065nm のX線を、ラウエ-ケース (透過の配置) にして  $\bar{2} 020$  反射を利用し、ブラッグ条件をすこしはずした条件 (オフブラッグ条件で) 撮影したトポグラフを図 1 に示します[1]。

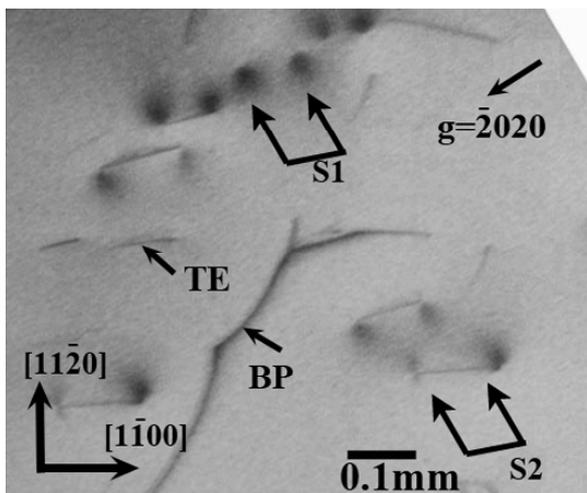


図 1 透過の配置、ラウエ-ケースの X 線トポグラフ。  $\bar{2} 020$  の反射での観察。回折条件は  $\bar{2} 020$  反射がブラッグ条件を満たす条件よりすこしはずした状態で撮影している。線状のコントラストの両端に暗いコントラストがついている貫通らせん転位 **S2**、暗いコントラストのみ観察され線状のコントラストがついていない **S1**。両端に暗いコントラストがついていない線状のコントラストの **TE**(貫通刃状転位)、長い線状の **BP** (基底面転位) などが観察されています。

図 1 の **S1**、**S2** は、貫通らせん転位と考えられる転位のコントラストを示しています。**S1** では  $\mathbf{g} \cdot \mathbf{b} = 0$  を満たすため貫通らせん転位のコントラストそのものは消失していると考えられますが、貫通らせん転位の両端のウエハ表面終端部では、転位のまわりの弾性応力が解放され格子の歪みが新たに発生し暗いコントラストが観察されています。この表面での応力解放によるコントラストは数 10 ミクロンの範囲に及んでいます。**TE** ではウエハの両面の転位の終端部では、転位の回りの弾性応力の解放による歪みのコントラストは明瞭には観察されていません。この転位は貫通刃状転位であると考えられます。**BP** は基底面転位だと考えられます。**S2** と表示された転位はウエハの両面の終端部で弾性応力の解放による格子の歪みによるコントラストがついている。また、同時に **TE** と同じような線状のコントラストがついていることより、**S2** の転位のバーガス・ベクトルは  $\mathbf{b}=\pm[0001] + 1/3\langle 11\bar{2} 0 \rangle$ であると考えられます[12]。通称貫通らせん転位と呼ばれている転位の中には、かなりの割合でこの転位が混在していると考えられます。

### ベルク・バレット法による観察

図 2 に放射光を用いたベルク・バレット法による  $g=\bar{1}\bar{1}28$  の反射で観察された貫通らせん転位の像を示します。直径約 20 ミクロン程度の白いコントラストとその回りに暗い輪郭のあるコントラストを伴っています。これらのベルク・バレット法での通称貫通らせん転位のコントラストは、図 1 に観察されている貫通らせん転位の表面終端部で観察される格子の歪みを観察していると考えられています。図 2 では貫通らせん転位 A と B は U 字状の形状をしていて下で繋がっていると考えられます。貫通らせん転位が表面の B よりウエハに入り A から表面に抜けたと考えれば、貫通らせん転位 AB は同一バーガース・ベクトルを持つ転位と考えられますが、転位 A と B はウエハの中で繋がっておらずそれぞれ独立した貫通らせん転位であると想定し、両方の転位の向きをウエハの深い所からウエハ表面方向にとると、貫通らせん転位 A と B のバーガース・ベクトルは逆向きであると設定することが出来ます。

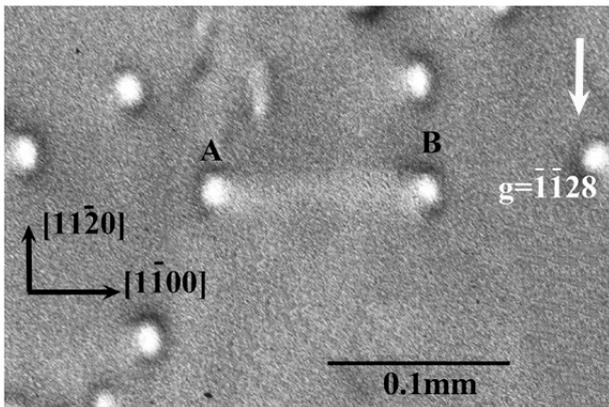


図 2 ベルク・バレット法による観察像。Si 面  $g=\bar{1}\bar{1}28$  の反射で観察。A,B は貫通らせん転位のコントラストであると考えられる。図中の白矢印はウエハ表面へ投影した  $g$  ベクトルの向きを示しています。

転位 A は白いコントラストの左縁が暗くなっており転位 B は右縁が暗くなっています。この微妙なコントラストの付き方より貫通らせん転位のバーガース・ベクトルの符号が、同符号か異符号かの判別に見えそうに見えます。しかしながら、貫通らせん転位は、一般に回折条件を変化させると貫通らせん転位のコントラストは複雑な変化を示します。その一例を図 3 に示します。

図 3 は回折条件を変えて貫通らせん転位のコントラストの変化を観察した例を示しています。観察は C 面で行っています。貫通らせん転位と思われる A, B, F, H, I, J は図 3 (a)  $g=\bar{1}\bar{1}2\bar{8}$  では、弱く小さなコントラストを示していますが、(b)  $g=112\bar{8}$  では典型的な貫通らせん転位のコントラストを示しています。また他の貫通らせん転位であると考えられている転位、回折条件を変えると複雑なコントラスト変化を示しています。これらのコントラスト変化は、通称貫通らせん転位と呼んでいる転位のバーガース・ベクトルに依存している可能性もありますが、ウエハ表面での転位周囲の弾性応力緩和に伴い導入された格子歪みの回折条件依存も含んでいると考えられます。通称貫通らせん転位と呼ばれている転位は、連載その 11 の透過型電子顕微鏡で観察されたように、正確に c 軸方向に沿って走っているわけではなく、概して c 軸方向からはずれておりそれらの傾きを持った通称貫通らせん転位がウエハ表面で終端すると、位周囲の弾性応力緩和に伴い導入された格子歪みも円対称ではないことが考えられます。貫通らせん転位の向きの c 軸方向からのずれのが、ウエハ表面終端部の歪み場へ影響を与えていると考えられ、それらの効果がベルク・バレット法での貫通らせん転位のコントラストの微妙な違いに影響を与えていると推察されます。以上より、ベルク・バレット法で観察されている通称貫通らせん転位と呼ばれている転位のコントラストは複雑な要因が影響を及ぼしていると考えられ、現在のところベルク・バレット法では  $\mathbf{b}=\pm[0001]$ 、 $\mathbf{b}=\pm[0001]+1/3\langle 11\bar{2}0\rangle$ 、 $\mathbf{b}=\pm[0001]+\langle \bar{1}\bar{1}00\rangle$  の分類や、バーガース・ベクトルの同定は行っていません。

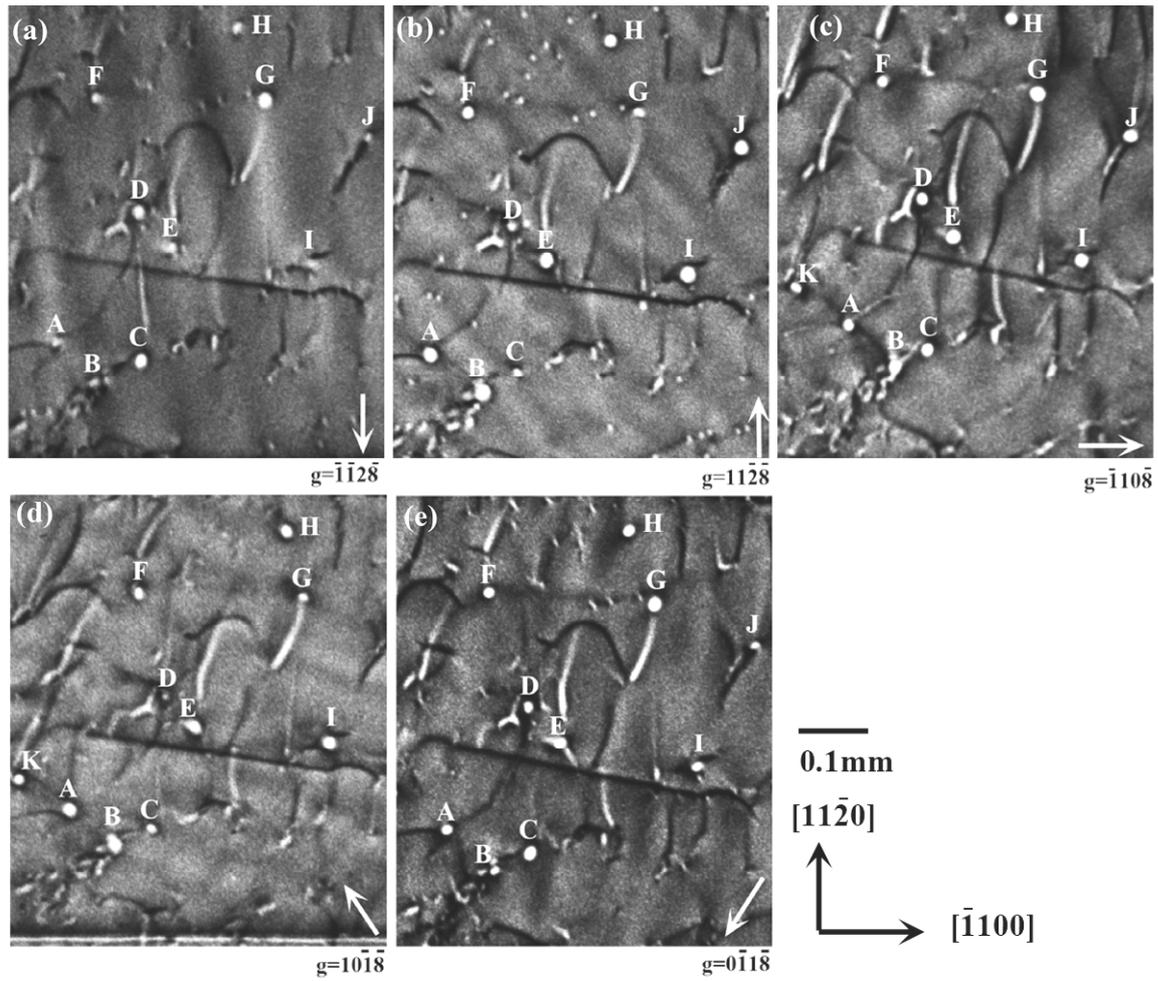


図 3 貫通らせん転位のコントラストの回折条件依存性を示す観察像。(a)  $g=\bar{1}\bar{1}2\bar{8}$ , (b)  $g=11\bar{2}\bar{8}$ , (c)  $g=\bar{1}10\bar{8}$ , (d)  $g=10\bar{1}\bar{8}$ , (e)  $g=0\bar{1}1\bar{8}$ 。

参考文献

[1] H. Yamaguchi and H. Matsuhata, Mat. Sci. Forum **725** (2012) 7.