

9. 電子ホール対再結合に誘起されたエピ膜中での基底面転位の移動の観察：2

前回の連載 8 では、エピ膜に光や電子線を照射し、エピ膜中に残存する基底面転位として界面転位の尾部にある基底面らせん転位が拡張し、Si コア 30 度基底面転位が REGD 効果により、ショックレー型積層欠陥の面積を拡大させ、最終的に積層欠陥は C コア基底面部分転位に囲まれ三角形の形状となって、拡大が終端することを示しました。このことより、エピ膜中に残存する基底面転位の大多数は、 $\mathbf{b}=1/3[11\bar{2}0]$ の界面転位の尾部の基底面らせん転位だということが分かりました。

エピ膜へ光や電子線を照射し観察される REGD 効果はこの界面転位の尾部の基底面らせん転位部のみではなく、連載 4 で説明した、界面転位の終端部がエピ膜表面を移動するときに形成されることがある U 字状の転位半ループの底部の Si コア基底面転位部位置でも観察されます。

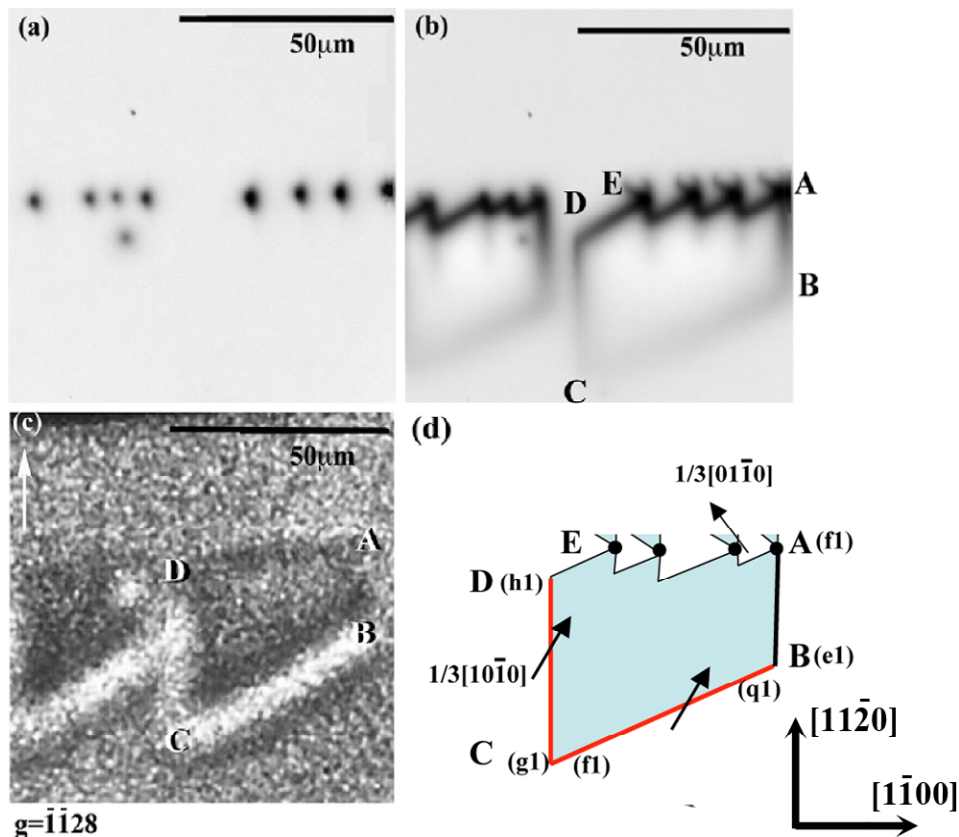


図 1 (a) EBIC で観察された U 字状転位の表面終端部の像。(b) 50 分電子線照射後の EBIC 像。(c) 放射光を用いたベルク・バレット法によるトポグラフ像。(d) 観察されたショックレー型積層欠陥のモデル。

図 1 は U 字状の転位半ループ列の貫通刃状転位部が表面で終端している場所の EBIC 像です。図 1(a) は観察を始めた直後の像。1 個の黒点は、半ループの貫通刃状転位の終端部だと考えられています。図 1(b) は 50 分観察後

の状態を示し、部分転位が拡張しショックレー型積層欠陥が形成されている状態を示しています。図 1(c)は(b)と同じ試料を放射光を用いたバルク・バレット法によって観察した像です。DCB 部は白いコントラストを示していることより運動したのは $\mathbf{b}=1/3[10\bar{1}0]$ の Si コア基底面部分転位であることがわかります。拡張した積層欠陥の構造のモデルを(d)に示します。DCB の部分転位部は 30 度 Si コア基底面部分転位であることが連載 7 の図 2(b)よりわかります。部分転位 $\mathbf{b}=1/3[10\bar{1}0]$ ABCDE で囲まれた部分がショックレー型積層欠陥です。これらの観察結果は、Skowronski と Ha が示したエピ膜中の基底面転位の拡張構造[3-4]と一致します。この U 字状転位半ループは連載その 4 の図 1(a)で示した L 字状の界面転位の表面終端部が移動する時にばらまかれた転位のくずですからこれらのバーガス・ベクトルは L 字状の界面転位と同じバーガス・ベクトル $\mathbf{b}=1/3[11\bar{2}0]$ を持つことがわかります[8]。また、転位線の方法は、完全転位を想定し、L 字状の界面転位と繋がっていた時の転位線の向きとそろえると D→A となります。部分転位部で転位の向きは、D→C→B→A と設定されます。図 1(d)の D→C 部は $\mathbf{b}=1/3[10\bar{1}0]$ の転位が、 $[1\bar{1}20]$ 方向を向いて走っていて右側にショックレー型積層欠陥が位置しているので、連載その 7 の図 2(b)の $h_1 \rightarrow g_1$ 部の $\mathbf{b}=1/3[10\bar{1}0]$ 30 度 Si コア部分転位に対応しています。また、図 1(d)の C→B 部は $\mathbf{b}=1/3[10\bar{1}0]$ の転位が、 $[2\bar{1}10]$ 方向を向いて走っていて左上側にショックレー型積層欠陥が位置しているので、連載その 7 の図 2(b)の $f_1 \rightarrow q_1$ 部の 30 度 Si コア部分転位に対応します。

つぎにこのショックレー型積層欠陥が面積の増大とともにどのように増加するかを推察した状態を図 2 に示します。

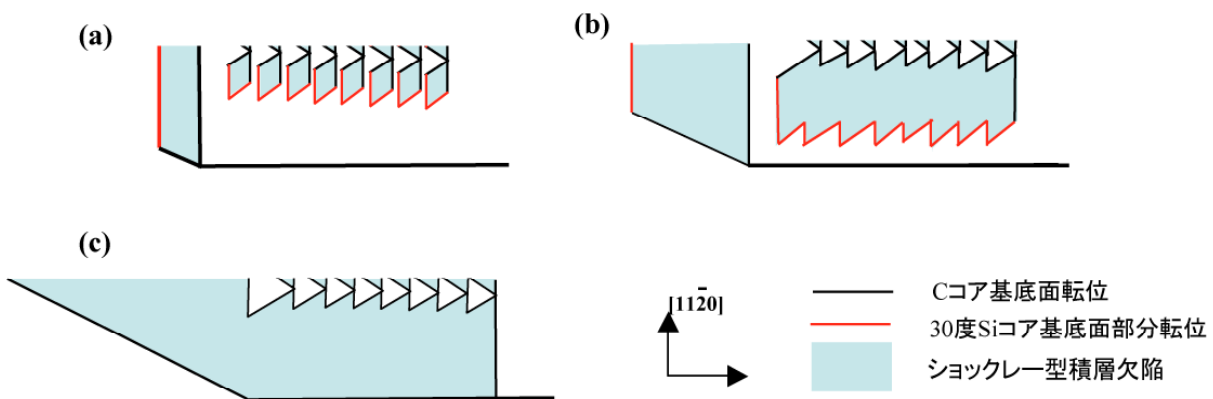


図 2 (a) EBIC で観察された U 字状転位を基点とする REGD 効果によるショックレー型積層欠陥の面積増大の模式図。(b) さらなる面積増大の状態の模式図。(c) 最終状態のモデル図。最終的に C コア基底面部分転位に囲まれショックレー型積層欠陥の拡大は停止する。

これらの $\mathbf{b}=1/3[11\bar{2}0]$ を持つ界面転位形成に由来するショックレー型積層欠陥は $\mathbf{b}=1/3[10\bar{1}0]$ の Si コア基底面部分転位の移動により面積を広げ、図 2(c) に示す形となり、C コア基底面転位で縁取られ面積の拡大は停止します。 $[11\bar{2}0]$ 側がギザギザした $[1\bar{1}00]$ 方向にベルト状に延伸したショックレー型積層欠陥は、エピ膜での REGD 効果による $\mathbf{b}=1/3[11\bar{2}0]$ の U 字状の転位半ループの最終形態としてよく観察されています。

図 3 はエピ膜に光や電子線を照射し、エピ膜中に存在している基底面転位が REGD 効果を引き起こしショックレー型積層欠陥を拡大させた後 C コア基底面転位で縁取られ拡大が停止する最終状態の積層欠陥の形状を

示しています。いずれもエピ膜成長中に形成された $b=1/3[11\bar{2}0]$ の界面転位より形成されています。図 3(a), (c) は 4H-SiC の ABA'C' の四面体積層構造のうち A,B 位置に $b=1/3[11\bar{2}0]$ の界面転位が存在するときに形成される積層欠陥の形状を示し、図 3(b), (d) は A' C' 位置に $b=1/3[11\bar{2}0]$ の界面転位が存在するときに形成される積層欠陥の形状を示しています。

以上が 4H-SiC のエピ膜で観察される REGD 効果により形成されるショックレー型積層欠陥の最終形状です。バイポーラー素子を作製し順方向特性劣化の実験を行った後のショックレー型積層欠陥を観察すると、このエピ膜成長時に導入された転位構造を反映するショックレー型積層欠陥の形状のものが多数観察されます。しかしながら、バイポーラー素子を作製する際に新たに基底面転位の形状のことなるものが出現している場合があります。pn 構造作製に伴い基底面転位の構造が変化する場合、どのように変化するかについてはつぎの連載 10 に続きます。

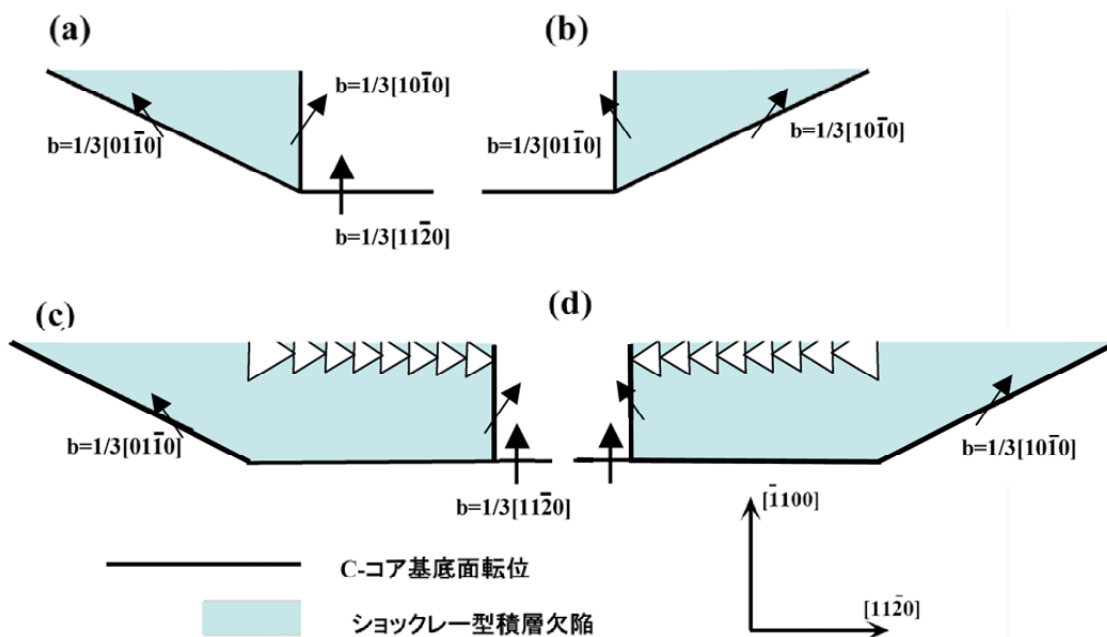


図 3 エピ膜に光や電子線を照射し REGD 効果を起こ発生した積層欠陥の最終形状。(a) L 字型界面転位の尾部の基底面らせん転位部形成される三角形のショックレー型積層欠陥。(b) 逆 L 字型界面転位の尾部より形成される積層欠陥。(c) L 字型界面転位の尾部および U 字状転位半ループにより形成される積層欠陥。(d) 逆 L 字型界面転位の尾部および U 字状転位半ループにより形成される積層欠陥。

参考文献

- 1) S. I. Maximenko, P. Pirouz, T. S. Sudarshan: Appl. Phys. Lett. **87** (2005) 033503.
- 2) A. Galeckas, J. Linnros and P. Pirouz: Phys. Rev. Lrft. **96** (2006) 025502.
- 3) M. Skowronski, and S. Ha: J. Appl. Phys. **99** (2006) 011101
- 4) Ha, M. Skowronski, and H. Lendenmann: J. Appl. Phys. **92** (2006) 393.
- 5) N. Zhang, Y. Chen, M. Dudley and R. E. Stahlbush: Appl. Phys. Lett. **94** (2009) 122108.
- 6) B. Chen, T. Sekiguchi, T. Ohyanagi, H. Matsuhata, A. Kinoshita, H. Okumura: J. Appl. phys. **106** (2009) 074502.
- 7) B. Chen, H. Matsuhata, T. Sekiguchi, T. Ohyanagi, A. Kinoshita, H. Okumura: Appl. Phys. Lett. **96** (2010) 212110.
- 8) H. Matsuhata, H. Yamaguchi, I. Nagai, T. Ohno, R. Kosugi and A. Kinoshita: Mat. Sci. Forum **600-603** (2009) 309.

9) A. Galeckas, J. Linnros and P. Pirouz: Appl. Phys. Lett. **81** (2002) 883.

10) J. D. Galdwell, R. E. Stahlbush, K.D. Hobart, and O. J. Glembocki: NRL Review (2008) 153.