

10. pn 接合構造作製に伴う転位組織の変化

・はじめに

連載 8 および **9** でエピ膜成長後に残存する基底面転位と、それらが REDG 効果を引き起こした時に形成されるショックレー型積層欠陥の形状について示しました。これらの形状の積層欠陥は、エピ膜成長後 pn 接合界面を作製した後、順方向特性劣化の実験を行っても観察されています。この観察される積層欠陥は、エピ膜成長後に残存した基底面転位が起源となって、順方向特性劣化を引き起こしたと考えられます。ところで、pn 接合構造を作製するとそれまで観察されなかった基底面転位組織が観察される場合があります。それらの新たに観察される転位組織は pn 接合構造を作製した時に現れるひとつの典型的な基底面転位構造であると考えられます。この **連載 10** では、pn 接合構造を作製した時に現れる基底面転位構造について示し、それが順方向特性劣化を引き起こすときのショックレー型積層欠陥の形状について示します。さらに、pn 接合構造での順方向特性劣化によって出現する積層欠陥一般について議論します。

・ pn 接合構造作製に伴い現れる基底面転位構造

NEDO プロジェクト「パワーエレクトロニクスインバーター基盤技術の開発(2006-2008年)」では、ESiCAT でエピ膜成長した基板に産総研で Al をイオン注入し、その後活性化アニールを行い pn ダイオードを作製したものと、Semisouth 社によってエピ膜成長によって pn 接合を作製した後各種のプロセスを経て pn ダイオードを作製したものとを放射光を用いたベルク・バレット法で観察しています。Al イオン注入、活性化アニールを行ったものにはそれらのプロセスを経ることによる特徴的な基底面転位組織が観察されました。

図 1(a)はエピ膜成長した直後の転位組織を示しています。**連載 4** で説明した L 字状、あるいは逆 L 字状の基底面転位が観察されています。L 字状、逆 L 字状基底面転位の水平方向に走る部分はウエハーとエピ膜の界面近傍に位置している C コア刃状転位で、界面転位の役割を担っています。転位線の向きを時計回りに設定すると、バーガース・ベクトルは、L 字状、逆 L 字状転位両方に対して $\mathbf{b}=1/3[11\bar{2}0]$ と定義することができます。L 字状、逆 L 字状転位の垂直方向に走る部分は基底面螺旋転位部です。Si 原子を中心位置に置き 4 隅に C 原子を配置させる四面体の 4H-SiC の積層 ABA'C' の A あるいは B の四面体のすべり面に基底面転位が位置するとき L 字状の形状になり、A'C' の四面体位置では逆 L 字の形状になります。

図 1 (b)は、Al のイオン注入後活性化アニールを行った状態の像を示します。Al を導入した p 層の形成により pn 接合の界面近傍に新たに界面転位が形成されていることが観察されます。新たに現れた白いコントラストの転位は Si コア刃状転位です。基底面転位の形は L 字状あるいは逆 L 字の形状から、C 字状あるいはコ字状の形状の基底面転位に変化しています。**図 2** にこれらの C 字状あるいはコ字状転位の形成モデルを示します。**図 3** に、pn 構造の断面とこれらの C 字状あるいはコ字状転位の配置の模式図を示します。エピ膜と基板の界面近傍に導入される界面転位は C コアの刃状転位であり、基板側に余剰

な $1/3[11\bar{2}0]$ を持っています。この C コア刃状転位は、**連載 4** で述べられたように、エピ膜成長時のウエハの温度分布が不均一であることがエピ膜/基板界面に転位が導入される原因であると考えられています [1]。一方で、pn 接合界面近傍で形成される Si コア刃状転位の生成原因は現在のところ明確ではありません。

Al をドープした 6H-SiC の単結晶の格子定数を測定した実験では Al のドープ量に比例して a 軸、c 軸の格子定数は増大することが示されています。一方で、N をドープした 6H-SiC の単結晶では N のドープ量に比例して a 軸、c 軸の格子定数は収縮することが示されています [2]。これらの結果は 6H 構造について報告されていますが、4H 構造でも同様に変化すると考えられます。このようなドーパントに起因する格子定数の変化が原因だとすると、pn 接合界面近傍では C コア刃状転位が導入されなければならないが、このことは観察された pn 接合形成後に観察された構造と矛盾します。格子定数が原因ではないことが推察されます。C 字状、コ字状転位は pn 接合形成のプロセスに依存していると考えられます。エピ膜成長時にウエハ表面近傍に弾力的な応力が導入され、その後の pn 構造形成時に表面近傍では応力の解放が発生し、Si コア界面転位が形成されるとも推察されますが、そうかどうかは不明です。また、必ず導入されるというわけでもなく、どのようなプロセスで形成されるのかは、現在のところ不明です。これらの C 字状、コ字状転位は、エピ膜成長時に導入された、L 字、または逆 L 字状の界面転位より形成されているので、エピ膜成長時のこれらの界面転位を抑制することが重要であると考えられます。

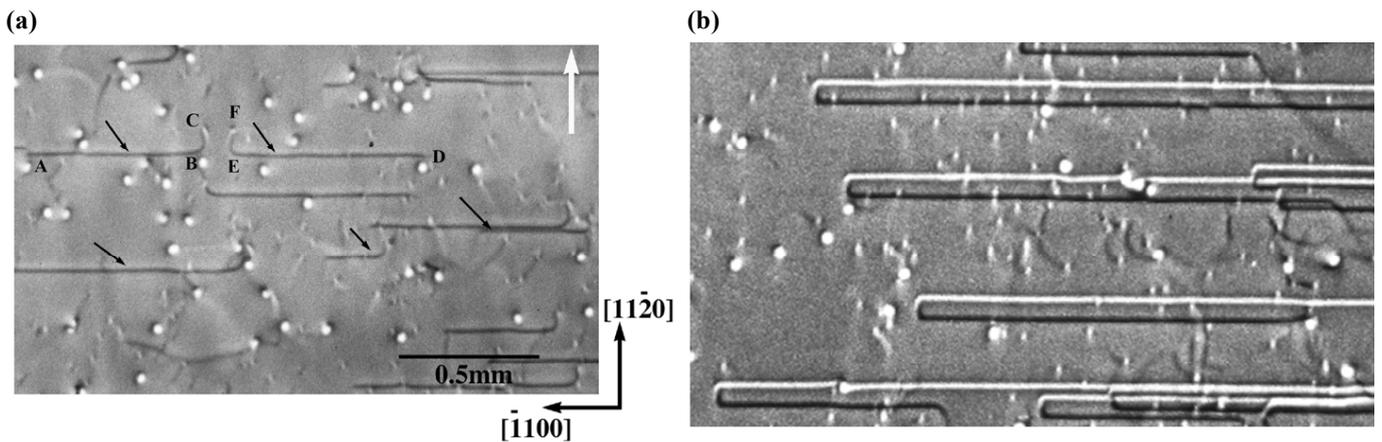


図 1 (a), エピ膜成長後のウエハーとエピ膜の界面転位。水平方向に走る転位は基底面 C コア刃状転位、垂直方向部は基底面螺旋転位。(b) Al による p 層形成活性化アニール後の C 字状転位。水平方向に走る白い転位は Si コア基底面刃状転位と推察され pn 接合界面近傍に存在。

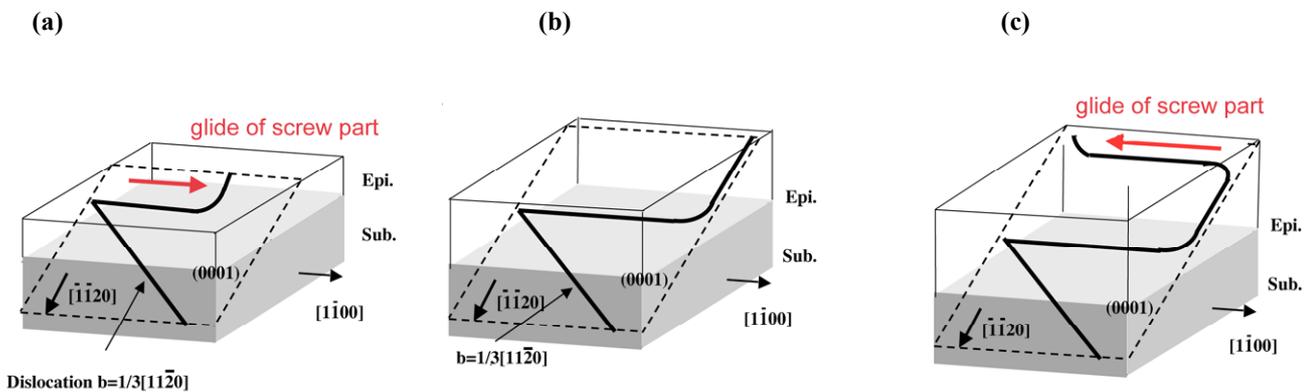


図 2 (a) エピ膜成長時に形成されるウエハーとエピ膜の界面の L 字状をした界面転位の形成のモデル図。(b) エピ

膜成長後のウェハーとエピ膜の界面転位の形成のモデル図。(c) Al 注入活性化アニールによる p 層形成後のコ字型の形状界面転位のモデル図。

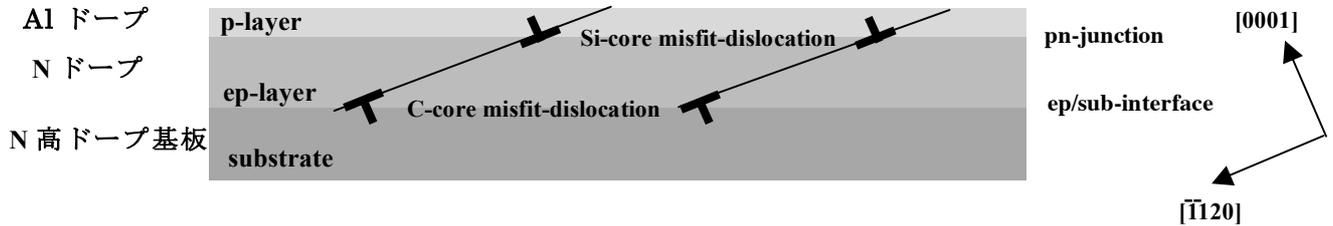


図 3 ウェハーとエピ膜の界面の界面転位と、pn 接合界面近傍に存在する界面転位の関係を示す断面模式図。

・ C 字状、コ字状転位の順方向特性劣化時の拡張

図 4 に pn 接合での順方向に電流を流した時に C 字状、コ字状転位がどのように形状を変え、最終的にどのような形状のショックレー型積層欠陥が形成されるかを示した図です。連載 7(b), (c)の基底面転位ループの赤線で示した 30 度 Si コア部分転位、c1→d1 部、f1→q1 部、あるいは d2→c2 部、q2→f2 部が転位線に垂直方向に移動することによって、最終的に船型のような形状になり両端への張り出しは停止すると考えられます。

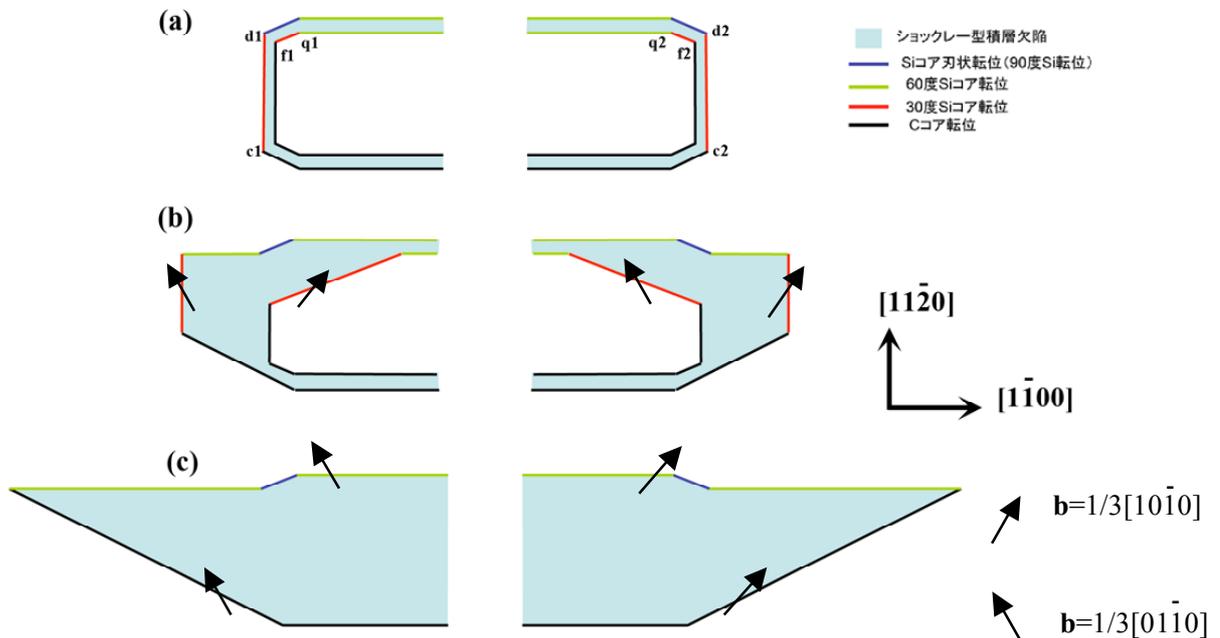


図 4(a) pn 接合形成直後の C 字状、コ字状転位。(b) 順方向特性劣化を引き起こし 30 度 Si コア部分転位が移動し、ショックレー型積層欠陥が拡張している状態。(c) 順方向特性劣化によってショックレー型積層欠陥のエピ膜基板側が C コア部分転位で囲まれている状態。

4 図(c)の船型形状のショックレー型積層欠陥は順方向特性劣化を引き起こした pn ダイオードを PL での

観察で確認することができます。4 図(c)の船型形状の上部の 60 度 Si コア部分転位、Si コア刃状転位部は、局所的に発生した Si コア 30 度転位が成長し、ウエハ表面に抜けていくことも発生することが考えられます。この形状は、連載 9 の図 3(c), (d)と良く似ていますが、がたがたした三角形の形状が無いところに違いがあると思われます。

連載 9 の図 3 と、この連載 10 の図 4 が pn ダイオード作製後順方向特性劣化の時に拡張する積層欠陥の最終形状を示した図です。実はこの形状とは若干形状の異なるショックレー型積層欠陥も観察されます。例えば、文献[3],[4]などには良く似ているけれど、異なる形状のものも観察されています。これらの少し形状が異なる積層欠陥は、異なる由来の基底面転位、異なる形成メカニズムによるものだと考えられ、pn ダイオード作製時のプロセス中に導入されたものではないかと推察されます。pn 構造作製後のダイオード作製時のプロセスにも依存すると考えられ、これらのプロセスでどのような基底面転位がどのように導入されているかを調べることは重要だと思われます。

参考文献

- [1] X. Zhang et al., Mat. Sci. Forum Vol. 679-680 (2011) p306-309.
- [2] M. Stockmeir, et al. : J. Appl. Phys. **10** (2009) 033511.
- [3] M. Skowronski, and S. Ha: J. Appl. Phys. **99** (2006) 011101
- [4] S. Ha et al.: J. Appl. Phys. **92** (2006) 393.