

8.3 双晶形成

上述のように、1本のショックレーの部分転位の運動によるfccの $\{111\}$ 面の積層変化は、すべり面に局在したものであるが、同じバーガースベクトルを持つショックレー部分転位が、平行ではあるが異なる $\{111\}$ すべり面上を一本ずつ規則的に運動すると、双晶 (twin) が形成される。双晶とは元の結晶と鏡面对称の関係にある結晶のことで、結晶構造は元の結晶と同じであるが、方位が異なる。

図8.6はfccの $\{111\}$ 変形双晶 (deformation twin) が形成される模式図である。各 (111) 面に1本ずつ、合計3本のショックレー部分転位 \mathbf{b}_2 が動くときの積層変化を順に示してある。3本目が通過した後の積層を見ると、丸で囲んだA層の上下の積層は鏡面对称になっている。このA層の面を双晶境界 (twin boundary) という。すなわち、3本のショックレー部分転位の通過によって、3層の双晶領域が形成されたことになり、右側の原子配列を見ると、双晶の領域は元の結晶と鏡面对称のfcc結晶

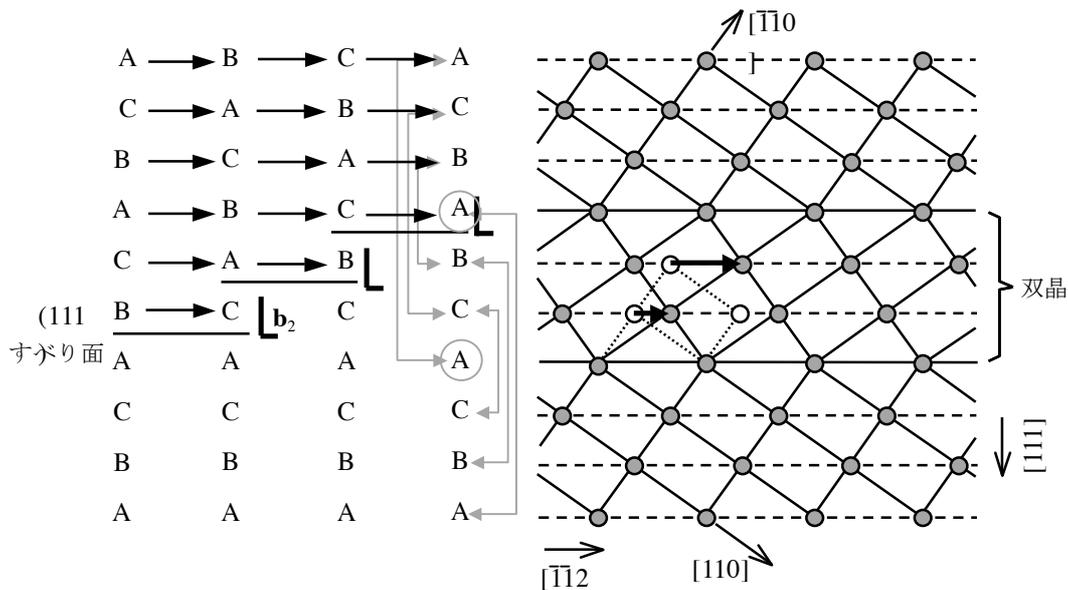


図8.6 3本のショックレー部分転位が (111) 面上を1本ずつ走ることによって生じる3層のfcc (111) 双晶。 (111) 積層が丸印のA原子を挟んで鏡面对称になっていることに注目。

になっていることがわかる。図中、 $[\bar{1}\bar{1}2]$ 方向へ引いた太い矢印で双晶形成のせん断方向を示した。この矢印ベクトルは前述の $\mathbf{b}_2 = (a/6)[\bar{1}\bar{1}2]$ の整数倍の大きさを持つ。これからも、各 (111) 面にショックレー部分転位が1本ずつ走れば、双晶が形成されることがわかる。

8.4 交差すべりと上昇運動

刃状転位では、バーガースベクトル \mathbf{b} と転位線方向の単位ベクトル \mathbf{t} が垂直で、これらのベクトルを共に含む面としてすべり面が規定される。一方、らせん転位では \mathbf{b} と \mathbf{t} が平行なため、転位が与えられても、それだけではすべり面が特定できない。すなわち、すべり面は \mathbf{b} を含む面でありさえすれば良いことになり、らせん転位は適宜すべり面を変えて運動することができる。これをらせん転位の交差すべり (cross slip) という (図8.7)。交差すべりは、たとえば主すべり面上をらせん転位が運動中に、何らかの障害物に出会ったときなどに、障害物を避けて運動するような場合に起こる。障害物を避けた後、再び元の主すべり面と平行ではあるが別の主すべり面に交差すべりする (二重交差すべりという) こともある。

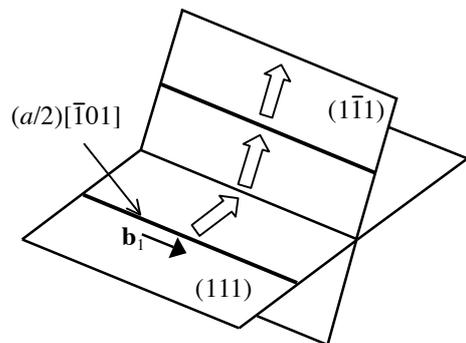


図8.7 らせん転位の交差すべり

らせん転位といえども、もし部分転位に分解して拡張転位になっていれば、各々の部分転位はもはやらせん転位ではない。さらに、すべり面上には積層欠陥を生じる。したがって、すべり面が特定されてしまう。このように拡張転位では交差すべりは不可能である。交差すべりするためには、局所的にでも完全転位に戻る必要がある（拡張転位が完全転位に戻ることを、転位の収縮, contraction, という）。拡張転位を一度局所的に収縮させるにはエネルギー（仕事）を要する。このエネルギーの一部は外力による仕事で賄われるが、有限温度での変形の場合、原子の熱振動のエネルギーも使うことができる。原子の熱振動エネルギーの助けを借りる過程を熱活性化過程という。そして、熱活性化過程は高温ほど起こりやすい。したがって、交差すべりも高温ほど容易になる。ただし、拡張転位の幅が広ければ、収縮にはより大きなエネルギーが必要であろう。したがって、積層欠陥エネルギーの小さな材料（すなわち拡張転位の幅が大きな材料）ほど交差すべりは困難となる。前節で学んだように、鉄などの bcc 金属では一般に積層欠陥エネルギーが大きく、転位はほとんど拡張していないと考えて良い。したがって、交差すべりは fcc 金属に比べて容易に起こる。頻繁に起こる交差すべりのため、bcc 金属では塑性変形によって生じた表面のすべり線は直線性が悪く波打っている。

刃状転位や混合転位では \mathbf{b} と \mathbf{t} の2つのベクトルですべり面が決まってしまうため、交差すべりは不可能である。しかし、高温になると、このような転位でもすべり面を逸脱した運動が可能となる。これを上昇運動 (climb) という。図 8.8 の左図に、刃状転位が1原子分だけすべり面に垂直方向に上昇する過程を示す。上昇運動のためには、転位芯を構成する原子を、周囲に放出しなければならない（原子空孔に着目すると、吸収されたことになる）。反対に、もし周囲から原子が転位芯のところへやってきたら、刃状転位は一段下降することになる（図 8.8 右図）。これも（原子吸収型の）上昇運動とよぶ。いずれの場合も転位近傍の局所的な原子の数に変化が生じる。したがって、上昇運動のことを転位の非保存運動 (non-conservative motion) ということもある。

図 8.8 のように1個の原子のみの放出または吸収が起こるならば、紙面の原子面の部分にのみ上昇運動が起こったことになる。紙面に垂直で、ある長さを持った転位線が上昇運動を起こすためには、複数個の原子が放出または吸収されなければならない。このような原子の移動は拡散を通じて起こる。2.3 節で学んだように、原子の拡散は高温ほど容易になるので、刃状転位の上昇運動も高温ほど起こりやすくなり、高温変形では主要な役割を果たす。

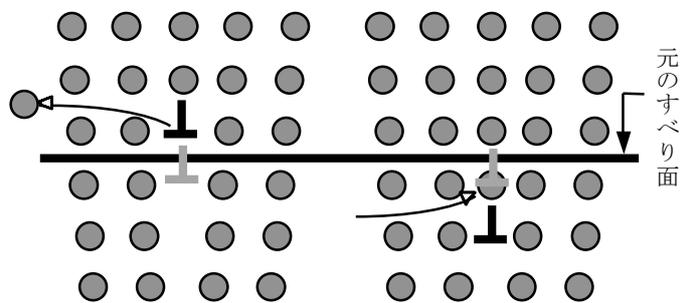


図 8.8 刃状転位の上昇運動

第4回練習問題

問題 4.1 fcc 結晶で、 (111) と $(\bar{1}\bar{1}1)$ の2つのすべり面上のすべりが同時に起こる場合を考えよう。

- 2つのすべり面の交線方向を求めよ。
- 今、それぞれの面をすべる完全転位のバーガースベクトルを $\mathbf{b}_1 = (a/2)[\bar{1}01]$, $\mathbf{b}_2 = (a/2)[110]$ とする。この2本の転位は、2つのすべり面の交線上で出会うと、 $\mathbf{b}_1 + \mathbf{b}_2 \rightarrow \mathbf{b}_3$ という反応を起こして1本の転位となる。 \mathbf{b}_3 を求めよ。また、この反応がエネルギー的に都合が良いことを示せ。
- \mathbf{b}_3 転位の転位線方向 \mathbf{t}_3 は(a)で求めた交線方向である。 \mathbf{b}_3 転位が刃状転位であることを示せ。
- \mathbf{b}_3 と \mathbf{t}_3 を共に含む面として \mathbf{b}_3 転位の可能なすべり面が決まる。一方、fcc ではすべり面は $\{111\}$ 型の面に限られる。 \mathbf{b}_3 転位の可能なすべり面が $\{111\}$ 型の面ではないことを示して、 \mathbf{b}_3 転位は実際上

運動することができないことを理解せよ。(\mathbf{b}_3 転位のことを, ローマーの不動転位 (Lomer sessile dislocation) またはローマー固着 (Lomer lock) とよぶ. また, \mathbf{b}_1 , \mathbf{b}_2 転位が共にショックレーの部分転位に分解している場合についても同様な不動転位を生じるが, これをローマー・コットレルの不動転位 (Lomer-Cottrell sessile dislocation) という.)

問題 4.2 8.3 節で, fcc の各 (111) 面にショックレー部分転位が 1 本ずつ走れば双晶が形成されることを学んだ. 同様に 1 原子面おきに 1 本ずつショックレー部分転位が走れば, fcc 結晶が hcp 結晶に変わることを, 図 8.6 の左側のような積層の変化を描くことによって理解せよ. ただし, hcp 結晶の (0001) 底面は fcc の (111) 面と同様な最密面で, その積層は...ABABAB... (...ACACAC...でも構わない) という 2 層周期である.