

RHEED 図形の読み方 (2)*

一 宮 彪 彦

名古屋大学工学部応用物理学科 〒464-01 名古屋市千種区不老町

(1989 年 9 月 6 日 受理)

How to Read RHEED Patterns? (Part 2)

Ayahiko ICHIMIYA

Department of Applied Physics, School of Engineering, Nagoya University
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-01

(Received September 6, 1989)

実際の結晶表面は表面層としての 2 次元結晶の下に 3 次元バルク結晶が接続している。ここではバルクによる電子線の屈折による回折波の方向の変化とそれによる RHEED 図形について、種々の表面の例について述べる。

3. バルク結晶表面からの RHEED 図形

実際の結晶表面は表面層としての 2 次元結晶の下に 3 次元バルク結晶が接続している。ここではバルク結晶による回折と RHEED 図形との関係を中心に述べる。

3.1 電子波の屈折

真空中から結晶中に電子線が入射すると、結晶の内部ポテンシャルにより電子は加速される。真空中の電子の運動エネルギーを E (eV), 結晶中の平均の内部ポテンシャルを V_0 (ボルト) とすると、結晶内部での電子の平均の波数 k は相対論補正を無視すると

$$k = \sqrt{\frac{E + eV_0}{(\hbar^2/2m)}} = \sqrt{\frac{E + eV_0}{150.4}} \text{ \AA}^{-1} \quad (9)$$

但し $(\hbar^2/2m) = 2.4099 \times 10^{-17} \text{ J\AA}^2 = 150.4 \text{ eV} \cdot \text{\AA}^2$ 。

また一方、真空中の波数 K は

$$K = \sqrt{\frac{E}{150.4}} \text{ \AA}^{-1} \quad (10)$$

ここで, $\hbar$, m および e はそれぞれプランク定数, 電子の質量および素電荷である。入射角を χ_0 , 屈折角を χ とするとスネルの法則から, 屈折率 n は

$$n = \frac{\sin \chi_0}{\sin \chi} = \frac{k}{K} \quad (11)$$

となる。したがって (9), (10) 式より屈折率は

$$n = \sqrt{1 + \frac{eV_0}{E}}$$

である。RHEED では E は数 keV 以上であり, eV_0 は一般に数 10 eV だから n は近似的に

$$n \simeq 1 + \frac{eV_0}{2E} \quad (12)$$

で表わすことが出来る。この第 2 項は 10 keV 以上の電子に対して 10^{-3} 以下となり非常に小さい。しかし, RHEED におけるブラッグ角も非常に小さいため, この屈折率の効果は比較的大きくなる。表面からバルクに入射する電子に対して (11) 式から

$$K \sin \chi_0 = k \sin \chi \quad (13)$$

がなりたつ。これは波数ベクトルの表面平行成分が結晶の内外で等しいことを意味する。この条件は結晶内部で回折された波が表面から出射する場合に対しても適用される。図 17 は結晶中のエワルド球と真空中の波数 K を半径とした球を用いてこの関係を幾何学的に示したものである。図中の視射角 θ_0, θ を用いると $K \cos \theta_0 = k \cos \theta$ となっており, このようにして結晶内部の回折波の方向と入射, 出射波の方向を図のように幾何学的に求めることが出来る。結晶表面に平行な網平面で回折される場合, ブラッグの反射条件 (ブラッグ条件) を満足した時, 回折波 (これは鏡面反射波となる) の強度が強くなる。面

* "RHEED 図形の読み方 (1)" は表面科学 10 巻 9 号, 573 ページ (1989) に掲載。

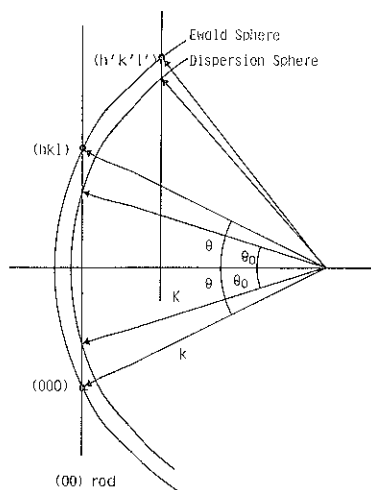


図 17 電子波の屈折。真空中の電子の分散球と結晶中のエワルド球。 $K \cos \theta_0 = k \cos \theta$ の関係を幾何学的に示した。

間隔 d の格子面によるブラッグ条件は、よく知られているように

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

である。 $G_n = n/d$, $k \sin \theta = \gamma$ とおくと、この式は

$$2\gamma = G_n \quad (14)$$

となる。 γ は波数ベクトル k の表面垂直成分である。

$K \sin \theta_0 = \Gamma$ とすれば (9), (13) 式を用いて、

$$\gamma^2 = \Gamma^2 + U_0 \quad \text{又は} \quad \Gamma^2 = (n/2d)^2 - U_0 \quad (15)$$

が得られる。但しここで $U_0 = eV_0/150.4 \text{ (Å}^{-2}\text{)}$ である。Si(111) 表面の場合、(111) 面間隔 d は 3.14 Å , また、 $V_0 = 12 \text{ V}$ であるから、111 ブラッグ反射に対して Γ^2 は

$$\Gamma^2 = (1/2d)^2 - U_0 = -0.0544 \text{ Å}^{-2} < 0$$

となる。 Γ^2 は常に正の値でなければならないため、111 ブラッグ条件を満たすことは出来ない。この様に電子線の屈折のために表面垂直方向の回折では最低次の反射は一般に出てこないことが多い。表面垂直方向に対するブラッグ条件は、したがって

$$2d \sin \theta_0 = \lambda \sqrt{n^2 - 4d^2 U_0} \quad (n \text{ は整数})$$

となる。一般に hkl 反射に対しては (hkl) 逆格子ベクトル g_{hkl} の表面垂直成分 G_{hkl} を用いると

$$\gamma_0 + \gamma_{hkl} = G_{hkl} \quad (16)$$

となる。これが一般的な場合の回折条件である。 γ_0, γ_{hkl} は入射波および回折波の波数ベクトルの垂直成分 Γ_0, Γ_{hkl} を用いて

$$\gamma_0^2 = \Gamma_0^2 + U_0, \quad \gamma_{hkl}^2 = \Gamma_{hkl}^2 + U_0 \quad (17)$$

がなりたつ。 g_{hkl} の表面平行成分を B_{hkl} , また入射波の波数ベクトルの表面平行成分を K_t とすると

$$\Gamma_0^2 = K^2 - K_t^2, \quad \Gamma_{hkl}^2 = K^2 - (K_t + B_{hkl})^2 \quad (18)$$

であり、これらを用いることにより回折波の方向が決定出来る。また、図 17 に示した作図によって、複雑な表面（たとえばファセットを持つ表面）からの回折図形を取扱うことが出来る。以下にいくつかの例について述べる。

3.2 単結晶表面からの RHEED 図形

表面緩和のない、バルク結晶の切断面としての表面からの回折では、結晶内部で回折条件を満足する波が強い回折強度をあたえる。図 18 は fcc(001) 表面に $[110]$ 方位から電子線が入射した時の 0 次ラウエゾーンの逆格子点と、エワルド球および真空中の分散球の切口とその時の RHEED 図形の模式図をいくつかの入射条件に対して示したものである。これからわかる様に表面層による逆格子ロッド (1×1 逆格子ロッド) は逆格子点と接続している。表面緩和や再構成表面では、逆格子はバルク結晶による逆格子点と表面層による逆格子ロッドにより構成され、結晶内部で回折条件が満足されなくても図 6 (2.2 節) に示した様に同心円上に並ぶ回折スポットが得られる。また図 18 の矢印で示したような、あるロッド上ではブラッグ条件を満足していなくても、他のロッド上で満足していると強い反射が出てくる 2 次ブラッグ反射が得られる。これはバルクの回折波の表面層による回折と考えられ、動力学的回折の取扱いによって強度を計算することが出来る。表面再構成を伴う結晶表面からの RHEED 図形は図 7 (2.2 節) の Si(111) 7×7 からの図形のように強い整数次スポット (バルクからの寄与) と再構成表面による分数次反射によるスポットからなっている。

3.3 繊維状結晶表面からの RHEED 図形

結晶の方位がある結晶軸のまわりに乱れた配向を持つ結晶組織を繊維組織 (fiber texture) と呼ぶ。この軸が表面に垂直である場合、表面層は 2.4 節で示した 2 次元多結晶と同じになる。その逆格子はバルクの逆格子点を (00) ロッドを軸にして 1 回転した環状になり、この環は 2 次元多結晶の円筒状の逆格子の上にある (図 19)。この環とエワルド球の交点が回折点をあたえ、RHEED 図形は、透過図形に似たスポット状になる。2.4 節で述べたようにこの場合も RHEED 図形は方位角に対して変化しないため繊維状結晶であることがわかる。図 20 は Si(111) 7×7 上に成長した Ag(111) からの RHEED 図形である¹⁾。図 20(a) は薄い結晶 (2 層程度) であり、(b) は厚い結晶 (4 ~ 5 層) である。厚さとともにストリークが短くなっているのがわかる。図 20(c) は逆格子とエワルド球の断面の模式図である。平坦な表面からの RHEED 図形と透過による図形の区別は難しい。透過回折の場合には図 20(c) の様な図形を示し、

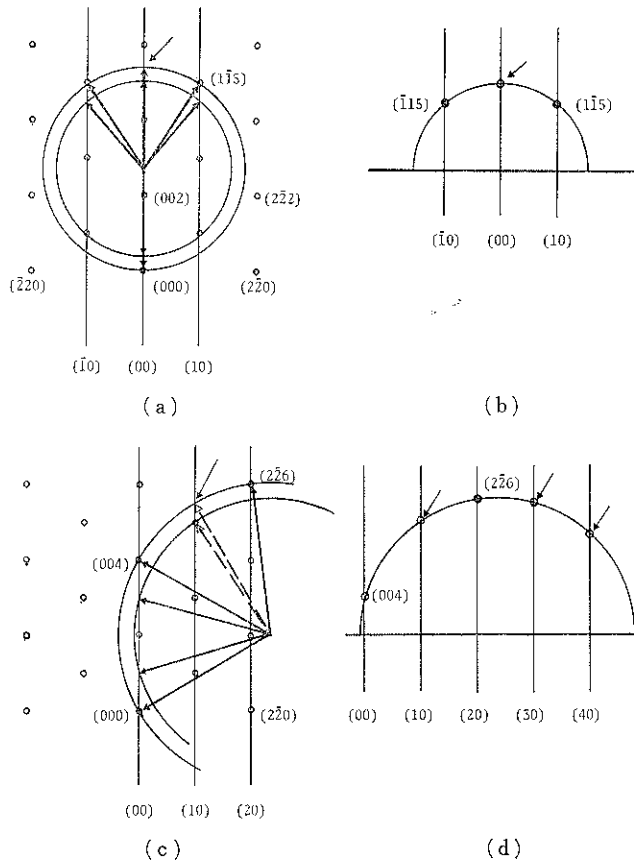


図 18 fcc (001) 表面に [110] から入射した電子線に対する 0 次ラウエゾーン逆格子点、逆格子ロッドおよびエwald 球の切口と対応する RHEED 図形の模式図。(a) [110] 入射, 115 反射を満足した場合。(b) (a)に対応する RHEED 図形。矢印が 2 次ブラッグ反射。(c) 入射方位を [110] よりずらした場合。004 と 226 反射を満足している。(d) (c)に対応する RHEED 図形。矢印は 2 次ブラッグ反射位置。

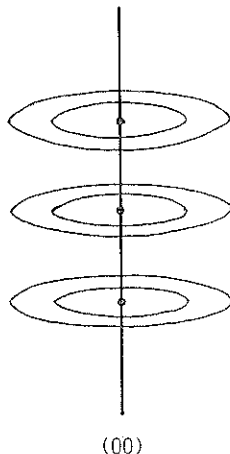


図 19 繊維状結晶の逆格子。

入射点と回折斑点との位置関係は図 21 において

$$\Gamma_{hkl} = G_{hkl} - \Gamma_0$$

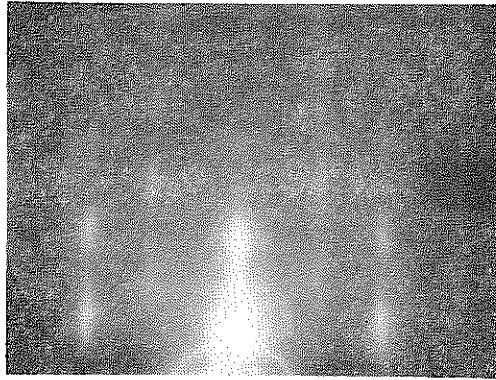
の関係になるのに対し, 反射回折の場合には屈折率を考慮して (16), (17) および (18) 式より

$$\begin{aligned} \Gamma_{hkl} &= \sqrt{(G_{hkl} - \gamma_0)^2 - U_0} \\ &= \sqrt{G_{hkl}^2 - 2G_{hkl}\gamma_0 + \gamma_0^2 - U_0} \end{aligned} \quad (19)$$

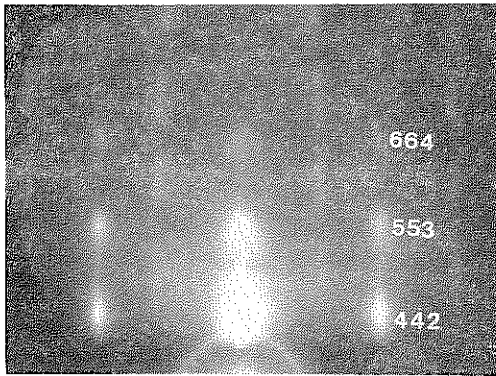
となる。図 20 (a), (b) のように入射点がよく見えない場合にもロッド上の 2 つの Γ_{hkl} と $\Gamma_{h'k'l'}$ との差と B_{hkl} の比の実測値 R が次の関係

$$R = \frac{\Gamma_{h'k'l'} - \Gamma_{hkl}}{B_{hkl}} > \frac{G_{h'k'l'} - G_{hkl}}{B_{hkl}} \quad (20)$$

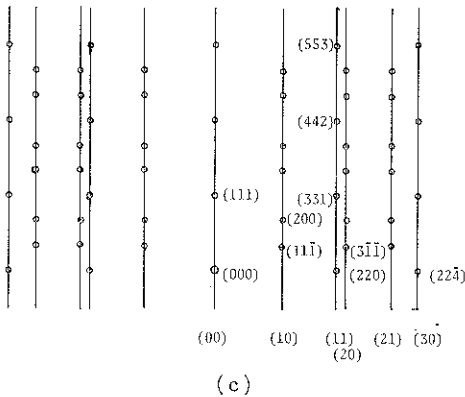
を満足する場合には反射回折に対応する。図 20 の場合, 442 反射と 553 反射の距離から $R_1 = 0.67$, 553 と 664 反射から $R_2 = 0.65$ が得られる。これらの値は $G_{111}/B_{220} = 0.61$ よりも大きい。一方, 銀に対する平均内部電位,



(a)



(b)



(c)

図 20 Ag(111) 繊維状結晶からの RHEED 図形。
(a) 薄い場合。(b) 厚い場合。(c) エwald 球と逆格子との断面の模式図。

約 20 V を用い、図 20 と (19) 式から、 $R_1=0.79$ 、 $R_2=0.65$ が得られる。 R_1 については実測値は計算値よりも小さいが、 R_2 はほぼ一致している。 R_1 の場合 442 反射がシャドウエッジに近いため、スポットの中心の座標を RHEED 図形から決定することは難しい。一致が悪いのはこのためであると考えられ、図 20 の RHEED 図形は反射回折によるものと評価することが出来る。

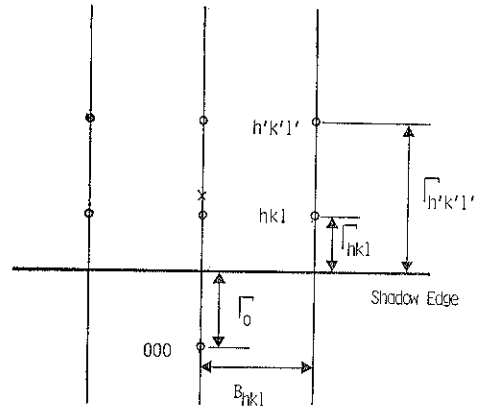


図 21 透過回折における入射点と反射点との位置関係。

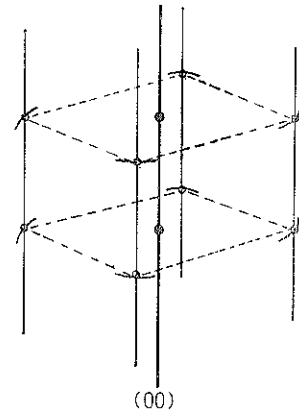
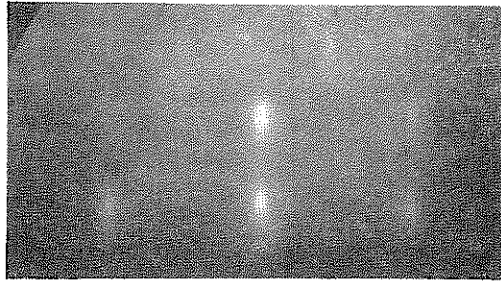


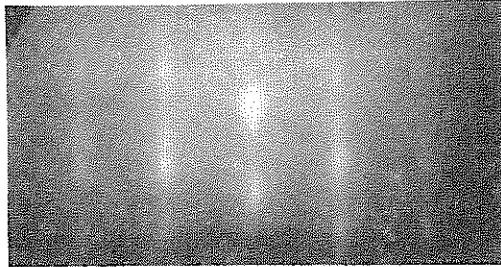
図 22 モザイク結晶の逆格子。

3.4 モザイク結晶表面からの RHEED 図形

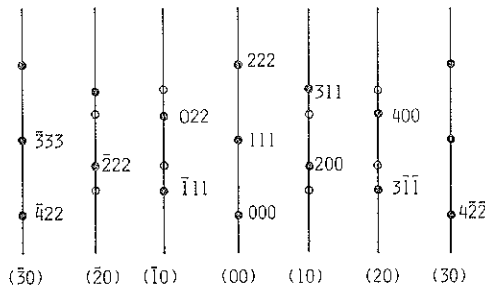
結晶の方位がわずかに乱れた微小結晶の集合体をモザイク結晶という。ここでは平坦な表面を持ち、表面に垂直な結晶軸のまわりにわずかに乱れたモザイク結晶を考える。この場合の逆格子は図 22 のように逆格子点が (00) ロッドを軸とした環上にのびたかたちになり、エwald 球との切口は点になる。図 23(a), (b) は Si(111) 6×6 Au 上に成長した Ag(111) 表面からの RHEED 図形であり、入射方位は夫々 $[11\bar{2}]$ および $[1\bar{1}0]$ である。後者では双晶による回折斑点 (図 23(c) の模式図参照) が現われている。また繊維状結晶と異なり、入射方位依存性が明瞭に見られることがわかる。(00) ロッド上の回折斑点は個々の結晶が小さいために逆格子点が拡がりをもったために出る。この様にモザイク結晶からの RHEED 図形はスポット状になり、透過図形と間違えやすい。図 24 は Ag(111) に対して、モザイク結晶表面からの RHEED 図形と 3 次元島状結晶



(a)

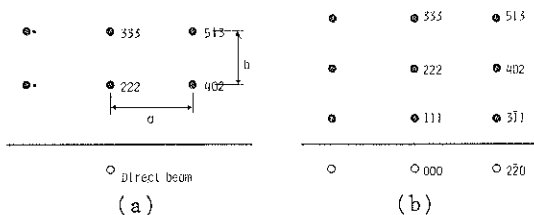


(b)

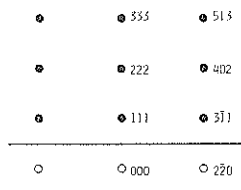


(c)

図 23 Si(111)6×6 Au 上に成長した Ag(111)表面からの RHEED 図形。(a) $[11\bar{2}]$ 方位。(b) $[1\bar{1}0]$ 方位。(c) 双晶による回折斑点の模式図。
○が双晶によるもの。



(a)



(b)

図 24 (a) モザイク結晶における RHEED 図形と (b) 透過図形の模式図。

からの透過図形について、入射点およびシャドウエッジと回折図形との関係を模式的に示したものである。透過図形では回折点の位置は逆格子点に対応した位置にくるのに対して、モザイク結晶では表面垂直方向にわずかにひきのばされ、また最低次の反射に対応する回折は出て

こない。入射点からの距離も透過図形では g_{hkl} に対応した位置になるのに対し、モザイク結晶では (19) 式に対応した位置になる。透過図形とモザイク結晶からの図形の差異は入射点と回折斑点の位置関係の他に繊維状結晶の場合と同様に図 24 に示した a, b の距離の比によってしらべることが出来る。透過図形では $b/a = \sqrt{3}/8 = 0.612$ になるのに対し、実測では $b/a = 0.66$ となり、わずかに大きくなっている。これによって図 23 が透過図形ではなくモザイク結晶からの回折であることがわかるが、一般には区別はむずかしい。

3.5 ファセットを持つ表面からの RHEED 図形

エピタキシャル成長による島状結晶は、成長結晶の晶癖によるファセットを持つことが多い。この場合、ファセット領域によるラウエ関数の寄与と電子の屈折による効果のために、透過回折を含む特徴ある RHEED 図形を示す。この様な表面からの RHEED 図形の詳細な解析は三宅によって 1930 年代に行なわれた²⁾。またファセットを持つ島状結晶からの透過回折は晶癖をもつ微粒子結晶からの透過回折としても取扱うことが出来る。ここでは入射面と出射面が異なる場合の回折波の方向について述べた後、いくつかのファセット表面からの RHEED 図形の特徴を示す。

まず図 25(a) のように電子線に対する入射面と出射面が平行な場合、図 25(b) のように逆格子点から入射面、出射面への垂線 (13) 式の条件による) は一致するので、RHEED 図形は逆格子点のスクリーンへの投影、すなわち典型的な透過図形となる (例えば図 24(a))。結晶が小さい場合には入射面、出射面のラウエ関数の寄

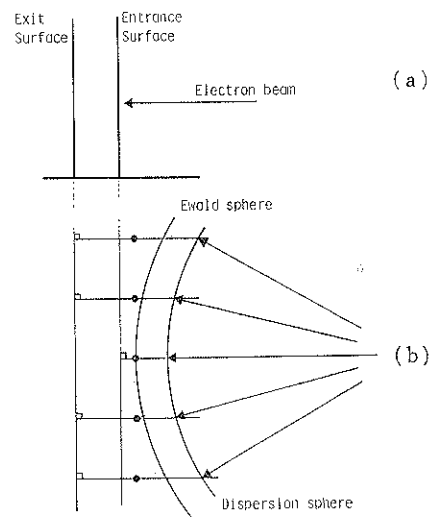


図 25 入射面、出射面が平行な場合の回折波の方向。(a) 実空間、(b) 逆空間。

与による微細構造を示す。入射面と出射面が平行でない場合 (図 26(a)), 図 26(b) に示す作図によって回折

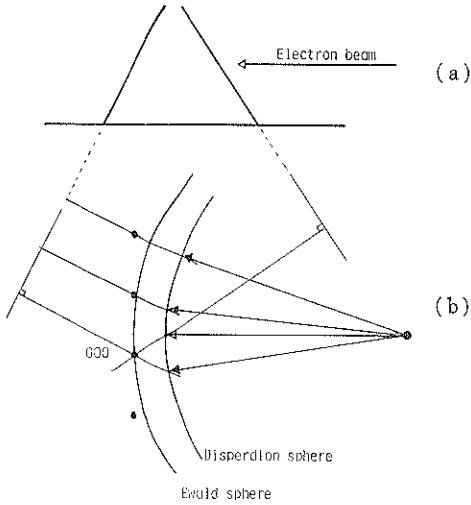


図 26 入射面と出射面が平行でない場合の回折方向の作図。(a) 面の方向, (b) 面の方向と回折方向。

波の出射方向を得ることが出来る。まず入射方向が決まると, 入射波数ベクトル K の先端から入射面に垂線を降し, この垂線の延長と, 結晶内の波数 $\sqrt{K^2 + U_0}$ の球 (エワルド球) との交点が逆格子点の原点になる ((13) 式の条件による)。こうして得られた逆格子点から出射面へ垂線を降し, これと半径 K の真空中の分散球との交点が回折波の方向になる。こうして, 種々のファセットを持つ結晶からの回折図形を作図することが出来る。

図 27 のようなファセットを持つ島状結晶について考える。このファセットの各面に図のように A から E までの番号をつけ, A と D は平行, E は表面に平行な面とする。まず D から入射して A から出射する場合はいわゆる透過図形になる (図 28(a))。次に B, C 又は E から入

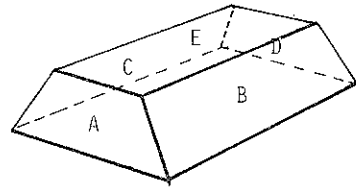


図 27 ファセットの例。

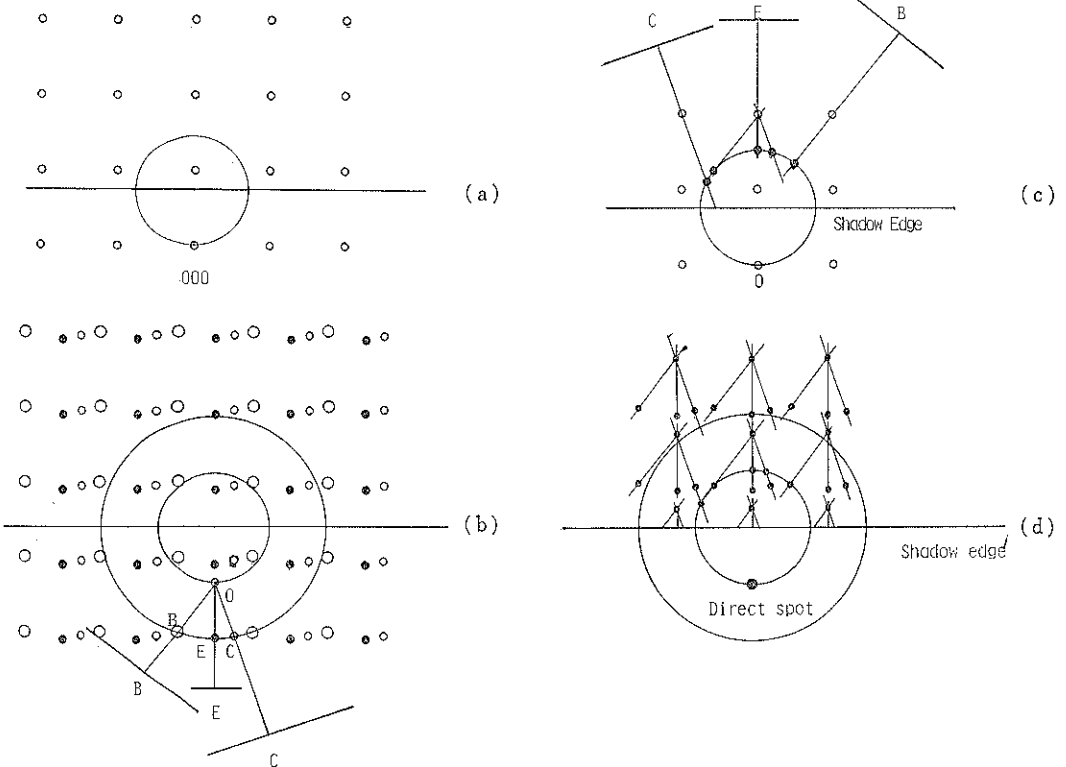
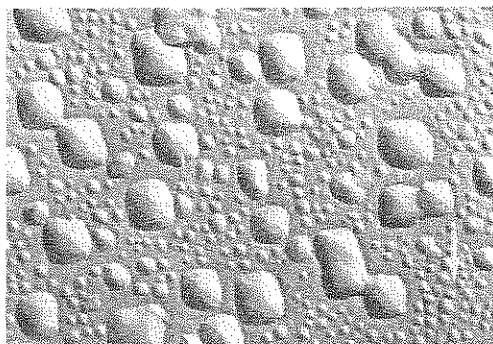


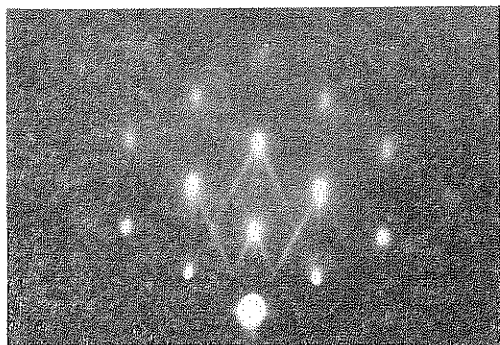
図 28 図 27 のファセットに対する回折図形の作図。(a) D から入射して A から出射する場合。(b) B, C 又は E から入射して A から出射する場合。(c) D から入射して, B, C, E から出射する場合。(d) (a), (b), (c) を重ね合わせた回折図形の模式図。

射してAから出射する場合について示す。図 28(b)のように、まず真空中の分散球と0次ラウエゾーンの切口の円を描く。ここで点Oが入射点である。また結晶中のエwald球と0次ラウエゾーンとの切口は半径の大きい同心円となる。B面からの入射に対しては、OからB面への垂線とエwald球との交点が逆格子点の原点となる。同様にC、E面からの入射に対してはC、E点が逆格子の原点になる。これらの逆格子点からA面への垂線と真空中の分散球との交点が回折波の方向になり、図 28(b)の逆格子点の配列に対応する回折図形が得られる。D面から入射して、B、C又はE面から出射する場合は透過図形と異なる図形を示す。図 28(c)にラウエゾーン上の逆格子および、真空中の分散球とラウエゾーンとの切口による円を示す。この逆格子点から、各出射面へ垂線を降し、これと真空中の分散球との交点が回折方向になる。したがって、この回折斑点は平坦な表面からの RHEED 図形と同様に半円上にのることになる。一般にこの回折波は0次ラウエゾーンでは出ないことが多くあまり観測されていない。図 28(d)は、図 28(a)(b)、(c)をかさねて、さらにラウエ関数の寄与によるストリークを加えたものであり、結晶が小さいと矢尻形の回折斑点になる。この RHEED 図形に似た図形を示すファセット表面の例を図 29(a)に示す。これは基板温度 600℃の Si(100)表面の Ge のガスソースエピタキシャル成長 (ガスソース MBE) 面のレプリカからの電子顕微鏡像である³⁾。図中矢印方向から入射した電子線による RHEED 図形が図 29(b)である³⁾。この場合図 28(d)の模式図の場合と異なりA面とD面が平行でないため、屈折により、わずかに回折方向が低角側にずれるが、ほとんど区別は出来ない。しかし結晶の方位を 90° 回転させることにより、図 29 のファセットでは RHEED 図形は変化しないのに対し、図 28 の場合には透過図形 (図 28(a)) 的になる。またストリークの方法は表面垂直方向のみとなる。図 29(b)の RHEED 図形のストリークの方法から、このファセットが {311} であることがわかる³⁾。図 30(a)の矢印の入射方位から 45° 回転した場合はストリークの方法が $\langle 310 \rangle$ になるとともに、ストリークの交点の回折強度は非常に弱くなる。ファセットを持つ表面からの RHEED 図形の解釈は図 29 に示したような作図によって、屈折の効果も含めて行なう必要がある。

このようにファセットを持つ表面からの回折図形は、ファセット構造を電子線の入射方向に投影した多角形の形状を反映するので回折図形からファセット構造について推測が可能である。例えば図 29(b)の場合、強い回折スポットを中心に $\langle 311 \rangle$ と $\langle 100 \rangle$ 方向にストリークが



(a) 1 μm



(b)

図 29 (a) 基板温度 600℃の Si(100)表面上の Ge のガスソース MBE 成長面のレプリカの電子顕微鏡像。(b) 矢印方向からの入射による RHEED 図形³⁾。(名大工学部大島直樹氏、小出康生氏、安田幸夫教授提供。)

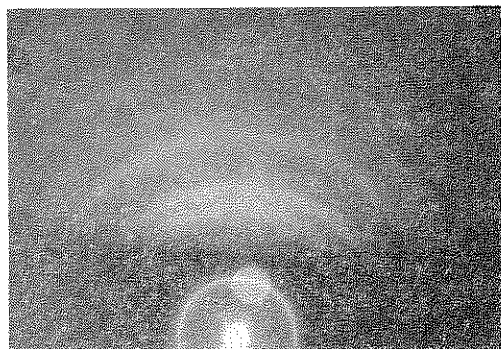


図 30 Si(111)上に蒸着された Au からの RHEED 図形。

延びていることから、入射方向に向き合った2つの面 (図 27 の A と D に対応) と入射方向に垂直な {311} 面、および表面に平行な (100) 面から構成されていることが推測出来る。結晶の対称性を考慮すると、ファセット構造は (100) で面取りされた {311} による四角錐となり、図 29(a)のレプリカ像と対応することがわかる。

3.6 多結晶表面からの RHEED 図形

多結晶の逆格子は (000) を中心とした同心球である。これをエワルド球で切ると環状の切口が得られる。これが結晶中での回折方向をあたえる。理想的に平坦な表面の場合、屈折の効果によって、通常デバイーシェラー環とは異なる環状の回折になる。すなわち低次の回折は出てこない。しかし回折図形は入射点を中心としてほぼ環状となり、この環の半径の評価には屈折を考慮に入れた詳細な解析が必要となる。しかし一般には多結晶表面は多数のファセットにより平坦にはならない。そのため RHEED 図形は透過図形となり、図 30 に示すような、通常デバイーシェラー環の一部がシャドウエッジ以上に現われる。また透過領域が小さいため、ファセットによる屈折のために、多くの場合図のように回折図形はボケた分布を示す。

3.7 微傾斜表面からの RHEED 図形

ステップを持つ結晶表面からの反射回折の特徴については Henzler による詳細な報告がある。この様な表面の一つの例として、低指数表面をわずかに傾斜させた微傾斜表面がある。この表面は規則的なステップを持つ図 31(a) の様な構造を持ち、逆格子は規則的なステップとテラスの形状によって図 31(b) のようになる。この逆格子を真空中の分散球で切ることにより、回折方向が得られる。図 32 は Si(001) の 4° 傾斜表面からの RHEED 図形であり⁴⁾、ステップは $[110]$ 方向である。ステップ端に平行な $[1\bar{1}0]$ 入射 (図 32(a)) では、図 31(b) に対応する規則的なステップ配列による回折斑点の分裂が見られる。またステップ端に垂直でステップを見おろす

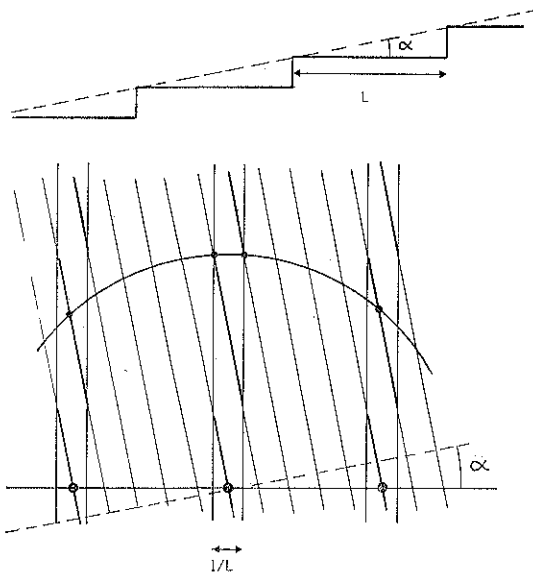
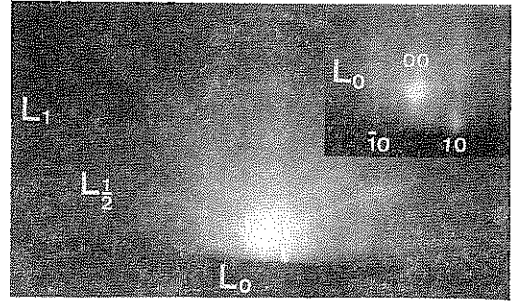
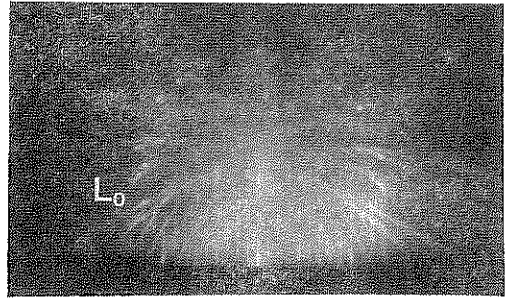


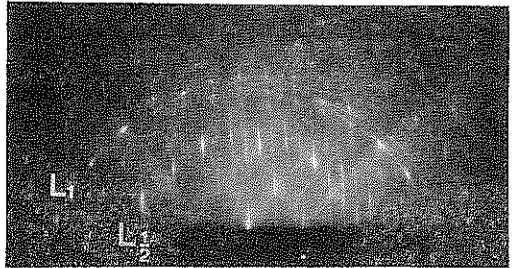
図 31 微傾斜表面 (a) と逆格子 (b) の模式図。



(a)



(b)



(c)

図 32 Si(001) 4° 傾斜表面からの RHEED 図形。
(a) $[1\bar{1}0]$ 入射。(b) $[110]$ 入射。(c) $[\bar{1}00]$ 入射。
(電子技術総合研究所坂本統徳博士提供。)

$[110]$ 入射 (図 32(b)) では、ステップ端原子配列による擬 1 次元結晶からのストリーク状の図形が見られる。この擬 1 次元結晶 (ステップは理想的な規則配列からずれている) による回折の特徴は特に $[\bar{1}00]$ 入射において明瞭に見られる (図 32(c) (2.6 節参照))。

3.8 RHEED における菊地図形 (模様)

結晶内部で非弾性散乱した電子は結晶網平面により回折して、菊地模様と呼ばれる図形を示す。この回折波の方向は電子線の入射方向には依らず、結晶の方向によって決まる。したがって菊地模様と回折斑点との位置関係から、電子線の結晶に対する入射方向を決定することが出来る。菊地模様の作図は逆格子点の原点と逆格子点を結ぶ直線の垂直二等分面 (これはブリルアン帯境界になる) とエワルド球の交線によって描くことが出来る。図 33(a) はそのようにして描いた菊地模様の例である。

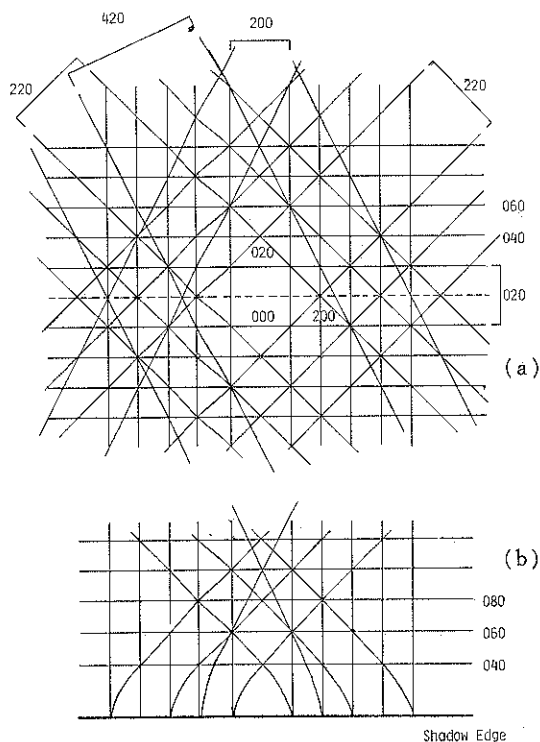


図 33 fcc 結晶の $[100]$ 入射に対する菊地模様作図。
(a) 屈折がない場合, (b) (001) 表面で屈折した場合。

fcc 結晶の $[100]$ 入射について描いてある。結晶による電子線の屈折がない場合, (001) 表面による反射回折では図中の点線がシャドウエッジの位置になる。実際には屈折の効果のために図 33(b) のように最低次の菊地線は現われず, また, シャドウエッジ付近で菊地線は曲率を持つ。反射回折の場合, 表面の 2 次元結晶による菊地線が考えられる。この場合, 菊地線の作図は逆格子の原点を通り, 逆格子ロッドに接する球 (図 34) の中心の軌跡がつくる曲面 (2 次曲面) とエワルド球との交線に

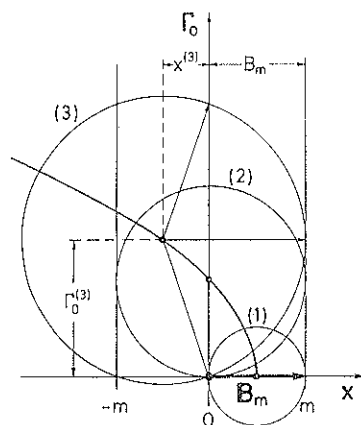


図 34 2 次元結晶に対する菊地線の作図。

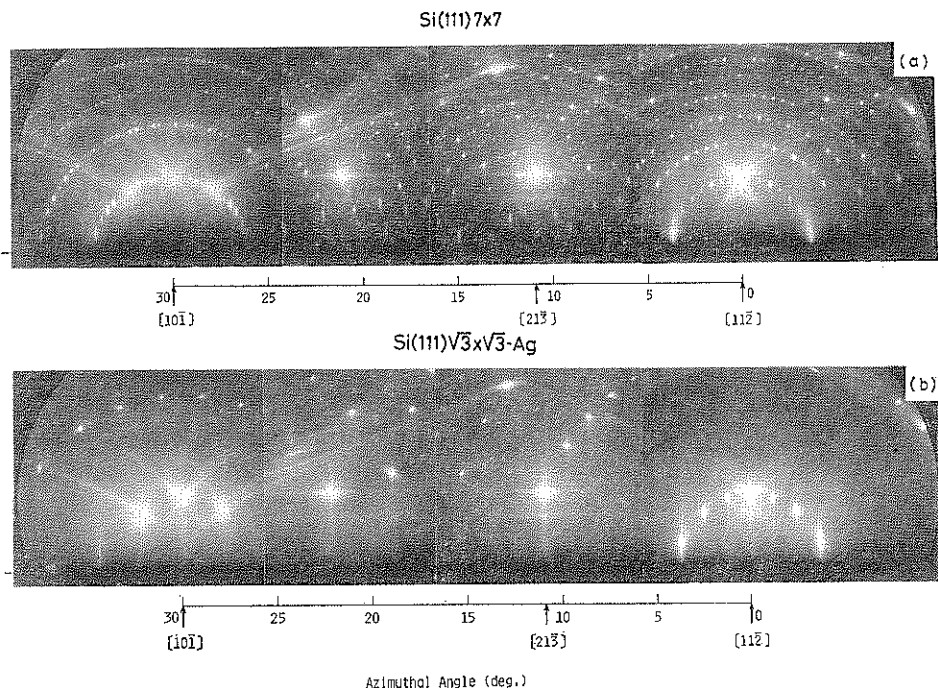


図 35 (a) Si(111) 7×7 および (b) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag 表面からの RHEED 図形の方位依存性。(愛知県立吉良高校堀尾吉巳博士提供。)

よって得られる。図 35 は Si(111) 7×7 および $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag 表面からの RHEED 図形の菊地線と入射方位の関係を示したものである。2次元結晶からの菊地線に対応する放物線状および円形の菊地線は一般にはバルクの菊地線の包絡線と区別がつかないことが多い。しかし図 35(b)の $[10\bar{1}]$ 入射における円形の菊地線は $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ 構造に起因するものであり、2次元結晶によるものと考えられる。

4. おわりに

RHEED 図形について、いくつかの代表的な表面に対する特徴を示した。しかし実際には種々の表面形態があり、上の例だけでは尽せない多くの RHEED 図形が観察されている。その全てについて述べることは出来ないが、RHEED 図形の解釈は、以上で示したように、電子波の表面における接続（波数ベクトルの表面平行成分の連続）、電子線の屈折、表面およびファセットの形状によるラウエ関数の効果などを考慮することによって行なうことが出来る。以上の例からもわかる様に、スポット図形は“凹凸を持つ表面からの透過図形”であり、ストリーク状図形は“平坦な表面からの図形”といった

簡単な解釈はかならずしもなりたない。特にストリークについて上では示さなかったが、わずかな起伏を持つ表面においても観察されるはずである。

謝辞 本稿を書くにあたり、貴重な RHEED 写真を心よく提供いただいた、東大理学部井野正三教授、名大工学部安田幸夫教授、小出康生博士、大島直樹氏、電子技術総合研究所坂本統徳博士、吉良高校堀尾吉巳博士に厚く感謝致します。また、いろいろご教示いただいた上田良二名大名誉教授、写真の焼付等にご協力いただいた安江常夫、中原 仁、横田毅彦各氏に感謝致します。

文 献

- 1) S. Kohmoto and A. Ichimiya: Appl. Surf. Sci. **33/34**, 45 (1988).
- 2) S. Miyake: Sci. Pap. Inst. Phys. Chem. Res. Tokyo **34**, 565 (1938).
- 3) Y. Koide, S. Zaima, N. Ohshima and Y. Yasuda: Jpn. J. Appl. Phys. **28**, L690 (1989).
- 4) T. Sakamoto: 電子技術総合研究所研究報告 875 号 (1986).

生物に学ぶ 機能性分子集合体の設計指針

日本表面科学会編 入山啓治 著
共立出版(株) B6判 119頁 1360円

本書は入山氏による同シリーズ1巻「LB 膜の分子デザイン」の姉妹編として位置づけられる。全体は5章より成っており、各章の内容は次のとおりである。

1章“分子博物学イロハ”では、身近な人間の感覚受容器に始まり、多種多様な生物一般に広く見いだされる生体分子が紹介されている。平易な語り口につられ読み進む中で、生体に関係する多数の物質群が分類・整理されて行く。2章“生体膜”では、膜の静的構造、リン脂質や糖脂質あるいは糖質の構造と機能について述べられている。特に、脂質膜の流動性を中心に生体分子の動的構造にも焦点が当てられているのが興味深い。3章“視覚”では、分子集合体の機能設計の指針となるモデルケースとして「視覚」が取り上げられている。機能集合体としての眼球や網膜の構造が説明され、分子光情報変換器としてのロドプシンの機能発現メカニズムが詳しく述べられている。4章“機能性分子集合体の設計”では、著者らの試みを含め、タンパク質分子をLB膜中に取り込む方法が具体的に紹介されている。5章“終わりに”からは、随筆風な著者のつぶやきが聴えてくる。

わかり易い表現を用いながら、本書全体を通じ折にふれて素朴な疑問符・感嘆符が現われる。そこに、永くこの分野において独創的な研究を続けてきた著者の博学な知識と、求めて止まないロマンを感じることが出来る。“分子エレクトロニクス”をはじめとして、新しい視点に立った分子機能の解明と、高機能デバイス等への応用を目指す若い人々に、是非とも一読を薦めたい啓蒙的入門書であろう。(山本 寛)