

泡模型結晶粒界の規則性

Regularity in the Structure of the Bubble Raft Grain Boundary

石 田 洋 一*

Yoichi ISHIDA

1. はじめに

前報¹⁾²⁾で福島、大川の一連の研究³⁾に用いられた泡模型の写真を調査し、その結果対応方位関係にもとづく規則粒界や規則性の乱れの様式である粒界転位を見出し報告した。今回は規則粒界の種類やその一般性を確かめるため本所で実験してみた結果を報告する。

2. 実験方法

Fig. 1 に示すように写真現像用のバットに水を張り、これに市販の液体洗剤ライポンFを加え、細いガラス管の先端(内径 0.1 mm 以下)から空気の泡を発生させた。泡直径は 0.5~1.7 mm, 泡の寸法はガラス管先端の口径や泡の発生速度、管先端の水表面からの深さなどにより変化する。種々の対応粒界ができるようあらかじめ角度をつけたプラスチック板 (Fig. 1) を水中に置きここに泡を貯え 60 cycle/sec の振動装置で液を上下に振動させると次第に粗粒化し目的とする規則粒界が生成した。

3. 実験結果および考察

(1) 規則化傾向

器壁に拘束されずにバットの中央部に浮いている泡の塊りにガラス棒をつっこみかきまわすと急激に再結晶して多結晶体になる。これに振動を加え次第に粗粒化させて粒界の泡配列を観察すると部分的に規則配列がみられる。Photo. 1 はその 1 例である。振動をつづけると規則部分は次第に拡大する傾向がみられた。実際の結晶では泡とくらべ拡散が充分おこるので規則化傾向はよりつよいものと考えられる。Photo. 1 は $\Sigma 7$ 対応方位関係にある規則粒界である。泡模型では $\Sigma 13b$ と $\Sigma 7$ に基づく規則粒界が生じやすい。これは泡模型にみられる粒界が面心立方晶で $\{111\}$ 軸のまわりの回転関係にあるも

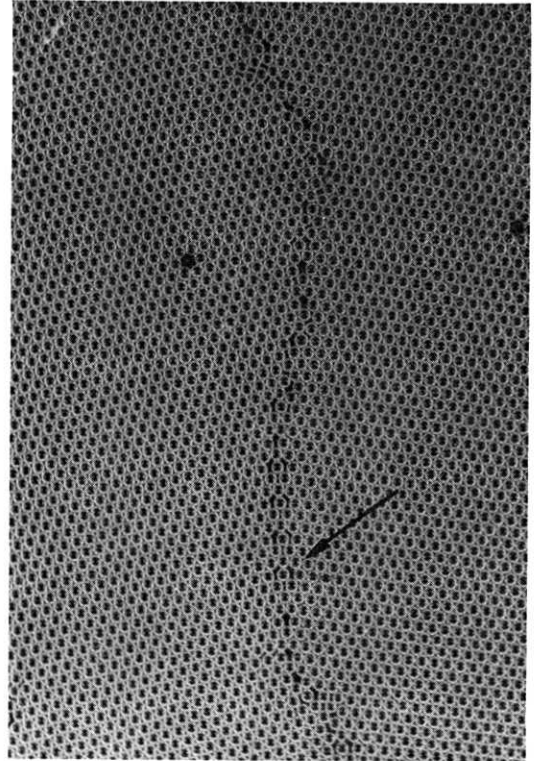


Photo. 1 An example of local ordering in the grain boundary.

のに限られるからであるが、Kronberg & Wilson⁴⁾が銅で $\Sigma 7$, $\Sigma 13b$, Rath & Hu⁵⁾が、アルミニウムで $\Sigma 7$ を見出している結果とよく一致し、泡模型が案外金属の実態に近いことを暗示しているようにおもわれる。

(2) 短範囲規則粒界

Photo. 1 に部分的に生じた規則粒界は一定の原子配列が周期的に繰り返されており、いわば長範囲規則性をもっている。これに対し Photo. 2 に示された粒界では似たような原子配列が各所に散見されるが、どこまでいっても周期性はみられない。これはこの粒界が $\{110\}$ 面と $\{211\}$ 面という相異なる結晶面がくっついて生じたようなかたちになっているからで、たとえ低エネルギーな原子配列単位があったとしても、これを規則的に繰り返すと刃状転位が横に高密度に並んだのと同じことになって低エネルギー粒界にはなれないからである。いわば短

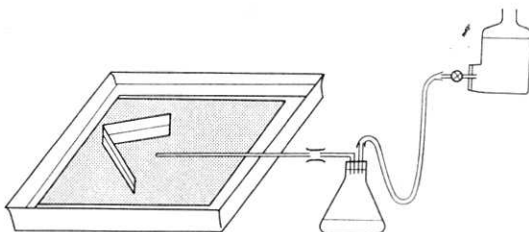


Fig. 1 Apparatus used for the bubble raft experiment.

* 東京大学生産技術研究所 第 4 部

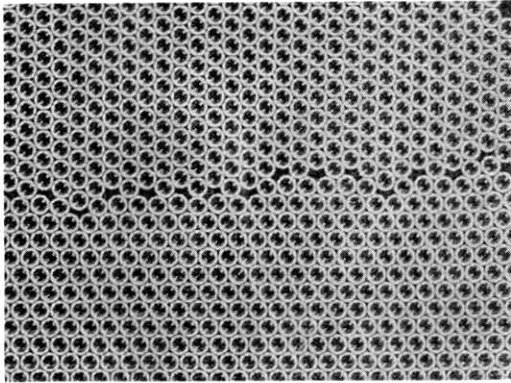


Photo. 2 An example of grain boundary having a short range order {110} A grain {211} B grain.

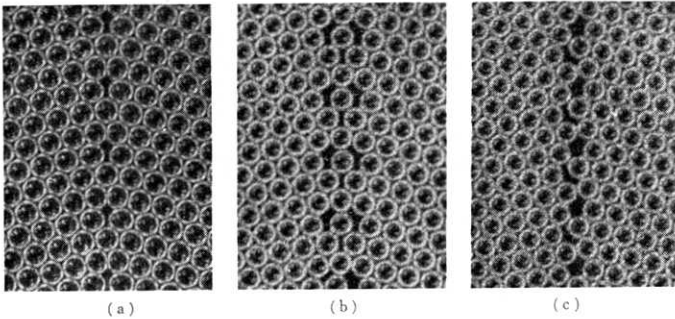


Photo. 3 Bubble raft grain boundaries in $\Sigma 7$ coincidence orientation relationship.

範囲規則粒界である。長範囲規則性がないからこの粒界上には粒界転位は定義できない。この種の境界は異相境界には一般的であろうと考えられる。同一相であって方位のみが異なる二結晶間に生ずる通常の結晶粒界で、この短範囲規則粒界がどの程度一般的に存在するかは今後の課題である。

(3) 長範囲規則粒界

同一対応方位関係の粒界であっても種々の泡配列がみられた。Photo. 3 はいずれも $\Sigma 7$ 対応方位関係（水面に垂直な軸のまわりに 21.8° 回転）にある規則粒界である。a, b は粒界面に関し面対称であるが c はそうでない。したがって左右反転したかたちのものも存在する。a と b のちがいは粒界にそって泡が 2 個あるか真中に 1 個あるかのちがいであるが、粒界を少し右か左に動かせば a と b はいれかわる。したがって変換には必ずしも原子の拡散を必要としない。一方 c は対称性に欠けており、むしろ 2 つの同じ結晶面 {541} がただ接着したようなかたちになっている。これら泡配列の安定性は主に泡の寸法による。泡間の最短距離が 1mm 以上のときは a が多く、それ以下のときは b が多い。c は静止状態で泡間の最短距離が 0.8mm のときにみられた。配列の種類は同じでも泡の厳密な位置関係は泡径が変わると変化してい

る。これは泡では径が大きいと反発力が泡間の距離に関しゆるやかに変化するようになるためである。いわゆるいと“やわらかい”結晶に相当する。これに対し、泡径が小さく“かたい”結晶になる。Photo. 3 b は泡径が a にくらべ小さいため結晶が“かたく”，もはや、a のように泡を 2 個押しこめなくなったと考えることができる。原子間の結合ポテンシャル曲線が異なる金属結晶の粒界では原子の規則配列様式も異なっていることがこれから予想できる。同じ径の泡でも静止状態と振動状態とは異なる規則配列ができ易いことは前報¹⁾で報告したとおりである。これはエントロピーの異なる二種以上の規則構造があつて温度により最も安定なものが選ばれるためであろう。

規則粒界は $\Sigma 7$ 対応方位関係の以外にも $\Sigma 13$ b, 19 b など重要な対応関係のいずれにも見出された。 Σ 値の大きい、対応関係に属するものも見られた。たとえば Photo. 4 は $\Sigma 151$ 対応関係に属するものである。これら高次の対応関係に属する規則粒界は Σ 値の小さい規則粒界の原子配列単位が二種以上組合わされて規則的配列になっていると解釈することもできる。

粒界の巨視的方位が対応粒界面からずれているときには粒界階段ができるか、あるいは二種以上の対応粒界面が複合して微視的には

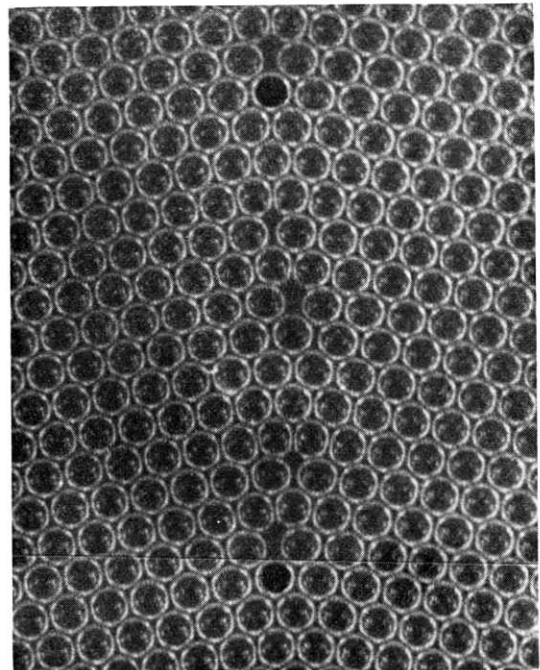


Photo. 4 A bubble raft boundary with $\Sigma 151$ coincidence orientation relationship.

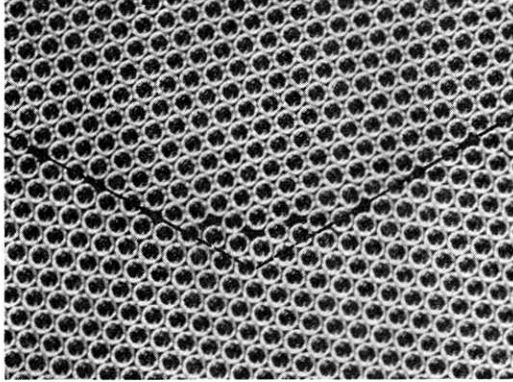


Photo. 5. Grain boundary of $\Sigma 7$ coincidence consisting of two ordered boundaries.

折れ曲っているものと考えられている。後者の場合、泡模型では面心正方晶で $[111]$ 軸のまわりの回転関係にある粒界ばかりなので、いずれも互に 60° 傾いた三本の同種類の規則粒界が可能である。したがって、Photo. 5 にみられるように 120° で折れ曲っているものが多い。しかしなかには 30° づれた方向に、二番目に低エネルギーな規則粒界が可能な対応関係もある。Photo. 6 は $\Sigma 7$ 対応方位関係にある粒界のうちで二番目に対応格子点密度の高い対応粒界面にもとづく規則粒界である。一番目のものは Photo. 3 にすでに示されており、これとは 30° の角度をなす。したがってこの種の粒界が十分低エネルギーな場合には粒界は 150° で折れ曲っている。

(1970年8月26日受理)

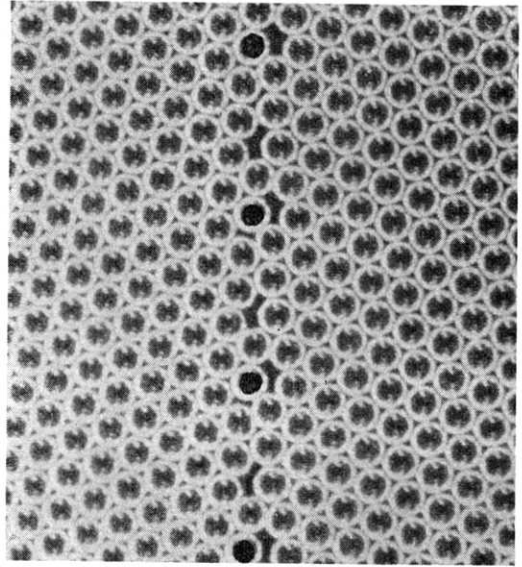


Photo. 6. An ordered grain boundary corresponding to the second sites densely packed plane of the coincidence sites in $\Sigma 7$.

文 献

- 1) 石田, 生産研究, 22, 249 (1970)
- 2) " " 252 (1970)
- 3) E. Fukushima and A. Ookawa; J. Phys. Soc. Japan. 8, 609 (1953) 9, 44 (1954), 12, 139 (1954)
- 4) M. L. Kronberg and F. H. Wilson; Metals Trans. 185, 501 (1949)
- 5) B. B. Rath and Hsun Hu; Trans. AIME., 245, 1243 and 1577 (1969)

p. 30 よりつづく

文 献

- 1) Y. Ishida, T. Hasegawa and F. Nagata; J. Appl. Phys. 40, 2182 (1969)
- 2) 石田: 日本金属学会会報, 9 巻, 156 (1970)
- 3) 石田: 日本結晶学会誌, 3 巻 (1970)
- 4) Y. Ishida; Trans Japan Inst. Met. 11, 107 (1970)
- 5) 石田: 生産研究, 21, 581 (1969)
- 6) A. W. Mullendore and N. J. Grant; Trans AIME 227, 319 (1963)
- 7) V. K. Kindroos and H. M. Miekko-Oja; Phil. Mag. 18, 119 (1968)
- 8) T. S. Ké; J. Appl. Phys. 20, 274 (1949)
- 9) 石田, 生産研究, 21, 42 (1969)
- 10) 石田, 生産研究 (この号)