

立方晶金属における対応粒界の種類と解析法

Coincidence Boundaries in Cubic Metals —Geometrical Relationships and a Method of Analysis—

石 田 洋 一*

Yoichi ISHIDA

前報¹⁾で [110] 軸のまわりに回転した関係をもつ対応粒界について原子配列を検討し対応粒界として Brandon らが考慮したもの²⁾より高次の対応関係が存在可能と考えられることを示した。そこで今回は回転軸を特定のものに限定せず、すべての対応粒界について、 Σ 3 から 49 までのものを調査した。Table I がその結果である。同一 Σ に属する対応関係の種類数は Σ の増加とともに増加する傾向にある。 Σ 11 までは各々 1 種類であるが、 Σ 13 以上では 2 種類のことが多く、 Σ 33 以上では 3 種類のことが多くなる。Table I において双晶面 (twin plane) とは対応関係が必ず 1 個はもつ対応格子点密度のたかい面で、この面の法線を軸にとって、 180° 回転すると境界が消滅して単結晶になる、という関係にある。双晶面を用いて Σ を求めるこの方法は、Friedel³⁾によって見いだされたもので、双晶面を面指数の小さいものから順次調べることにより Σ のすべてについて網羅できるという利点がある。この方法ではどの対応関係とどの対応関係が隣接した関係にあるか一般的にはわかるが、ある特定の回転軸に関して回転角度の順にどう並んでいるかはわからず、そのためには前報¹⁾ で用いたような Rangnathan⁴⁾の方法が便利である。同一対応関係に属する双晶面の数は 2 個のこともある。これらはたいてい [100] または [110] 軸回転でつくることができる対応関係で、ふたつの双晶面は [100] のものでは 45° の角度、[110] のものでは直角に交差している。これらふたつの双晶面の交線は、それぞれ [110] に平行である。 Σ の小さい対応関係にこれらのものが多く、 Σ が増加するにつれて双晶面数は 1 個のことが多くなる。双晶面は一般にその対応関係のうちでいちばん対応度のよい境界面であるが、対応粒界面として考えられる対応格子点密度の高い面は双晶面だけではない。

同一 Σ に属する対応関係の種類が Σ の増加とともに増加し、一方立方晶がもつ 24 個の同等な回転関係の縮退も Σ の増加とともにとれるので、前報¹⁾ で図示したステレオ三角柱内の球も増加する。同一 Σ に属する球個数 N を Fig. 1 に示したが、 Σ の増加とともにほぼ直線的に増加していることがわかる。そのため、各 Σ についてステレオ三角柱内に占める体積比 f は Fig. 2

Table I coincidence systems

Σ	twinning planes	Σ	t. p.	Σ	t. p.
3	(111)(211)	25	(430)(710)	37	(831)
5	(310)(210)		(543)	39	(752)
7	(321)	27	(511)(552)	41	(443)(833)
9	(411)(221)		(543)		(540)(910)
11	(332)(311)	29	(432)	43	(621)
13	(510)(320)		(730)(520)		(533)(655)
	(431)	31	(651)	45	(761)
15	(521)		(732)		(921)
17	(530)(410)	33	(441)(811)	47	(542)
	(433)(322)		(522)(554)		(754)
19	(611)(331)	35	(741)	49	(851)
	(532)		(531)		(763)
21	(421)	37	(653)	37	(932)
	(541)		(610)(750)		(632)
23	(631)		(743)		(853)
					(941)

に示すようにそれほど鋭い減少は示さない。この図で同一 Σ に属すると考えられる領域 (球半径) としては前報¹⁾同様 Brandon²⁾の範囲仮定

$$\theta = \pi/12(\Sigma)^{-1/2}$$

を用いた。そうするとステレオ三角形中の存在比 f は

$$f = 16N\theta(1 - \cos\theta)/\pi$$

で計算される。

前報で Σ 3 から 19 までの f 値を合計すると 15.6% であったが Σ 21 から 49 まで合計すると 11.4% であり、 Σ 19 までのものと比較して無視できない。合計して Σ 49 までで 27.1% が含まれると期待されるが、Brandon の仮定が Σ の大きいところでも正しいかどうかには問題がのこる。なぜなら、もし対応粒界上の対応格子点密度が境界エネルギーの目安として使えるならば θ は $(\Sigma)^{-1/2}$ でなく $(\Sigma)^{-2/3}$ に比例するからである。そうだとすると f 値はこの計算結果よりもっと小さいはずである、しかし一方、前報¹⁾ で示したように高次の Σ では疑対応点が存在するようになることを考えると、 f

* 東京大学生産技術研究所 第 4 部

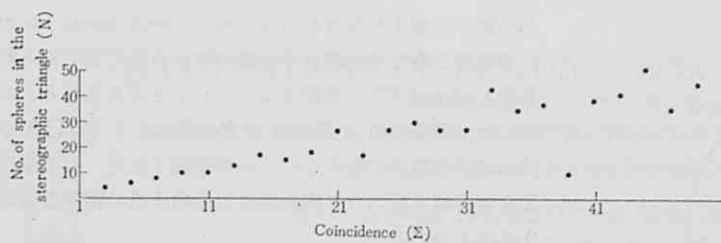


Fig. 1

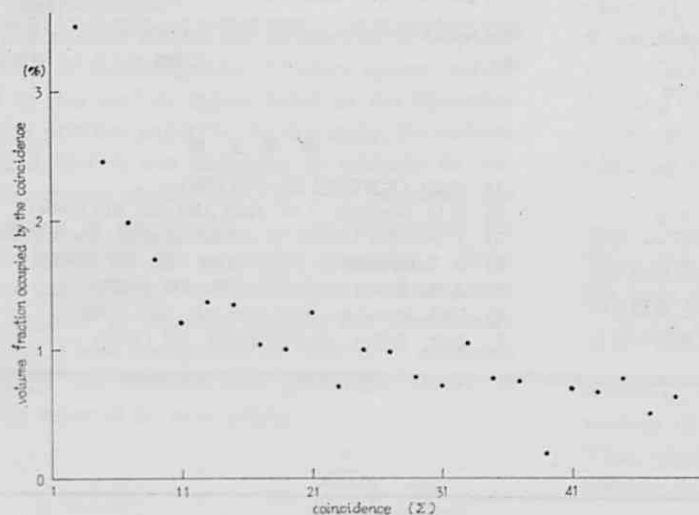


Fig. 2

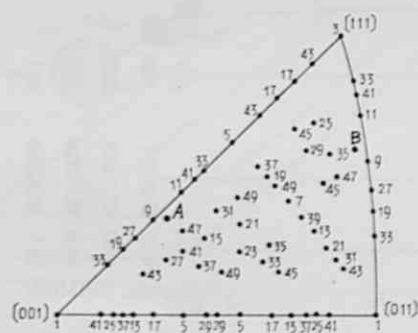


Fig. 3 180° rotation axes of coincidence systems

値は逆にもっと大きい可能性がある。

Fig. 3 は Table I に示した 180° 回転軸をステレオ三角形に図示したものである。この図を用いて任意の結晶粒界がどの対応関係に近い方位関係にあるか Σ の大きいものについても、容易に決定することができる。その方法とは、まず電子回折斑点をしらべて隣接両結晶粒の方位を決定する。次に前報⁹⁾ で用いた電算法で両結晶粒の方位関係を説明できる 24 個の回転関係をしらべ、180° 回転あるいはそれに数度のはないで合致するものにつき軸の方位を Fig. 3 にプロットして比較すればよい。1 例として photo 1 の粒界についての解析を次に示す。

電子回折によるとこの写真の下部の結晶粒を A, 上部のを B とすると次のような関係があることがわかった。

電子線方向 $\parallel [100]A \parallel [51\bar{3}]B$

” $\perp [011]A \parallel [442\ 312\ 841]B$

上のような方位関係を説明する 24 個の回転関係を電算によって求め、180° 回転に近いものをさがすと次の 2 個 (A, B) が見いだされた。

A ; $[393\ 343\ 1314]$ のまわりに 178° 回転,

B ; $[911\ 948\ 520]$ のまわりに 177° 回転,

A B 両点は Fig. 4 にプロットしてあるが、これを見るとこれらが $\Sigma 9$ 対応粒界に十分近い方位関係をもつことがわかる。

従来の電算プログラム⁷⁾ では一方の結晶粒の方位に着目し、これに対応関係にもとづく回転を種々おこなって他方の結晶粒の方位と比較し、その差が小さいものを取りだし判定していたが、この方式は Σ の大きいものまでふくめて検査すると計算が膨大になり不便である。

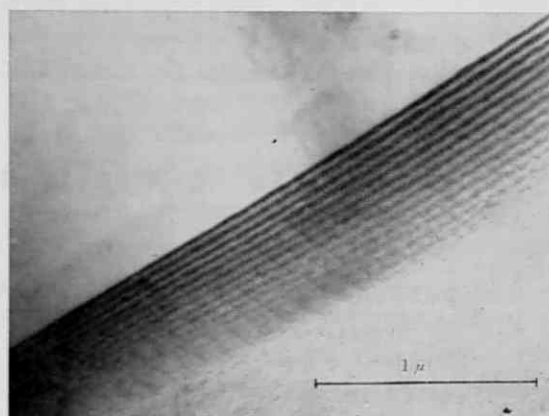


photo 1

photo 1 の粒界面が $\Sigma 9$ 対応粒界面のどれであるかをしらべたのがつきの Fig. 4 である。回転関係がすでに判明しているの、そのうち $[110]$ 軸回転のものに注目し、これを中心にもつステレオグラムで表示したものである。二重丸で示した点 $[\bar{1}14]A$, $[2\bar{2}1]A$ などは対応関係のうちでそれぞれ 1 番目, 2 番目に対応格子点密度のたかい面の法線方位を示してある。この図では, photo 1 の電子線は $[100]A \parallel [51\bar{3}]B$ すなわち左方の円でかこまれた方向で入射していたことになる。破線は電

研究速報

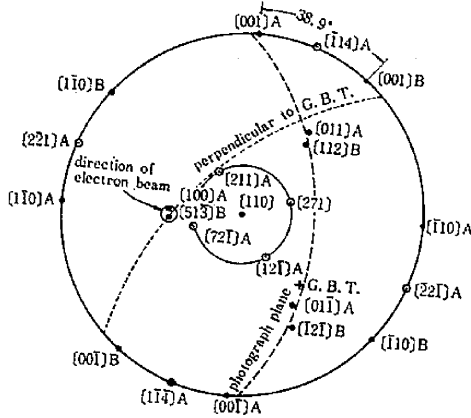


Fig. 4

子線の入射方位に垂直な面すなわち写真面を示し、近傍の点は回折斑点として回折写真にあらわれた斑点のうち代表的なものを記してある。G. B. T. は粒界と薄膜との交線の方であるが、粒界面の法線はこれに垂直である

から図の点線上になければならない。一方 photo 1 における粒界のみかけの幅と干渉縞の数からみて電子線と粒界面とはほぼ 45° の角度をなしていると考えられる。このふたつの条件から Fig. 4 の左上方にある [211]A が photo 1 の粒界の面らしいことが推論される。この面は Σ9 対応粒界面のうち四番目に対応格子点の稠密な面のうちの 1 つである。

今後、このような解析を多くの粒界についておこない高次の対応粒界がどの程度存在するか統計的にしらべてゆく。
(1969 年 7 月 1 日 受理)

参考文献

- 1) 石田: 『生産研究』 21, 552(1969)
- 2) D.G. Brandon et al: Acta Met. 12, 813 (1964)
- 3) J. Friedel: Lecons de Cristallographie, Paris.(1926)
- 4) S. Ranganathan: Acta Cryst.: 21, 197 (1966)
- 5) 石田, 長谷川: 『生産研究』 21, 148 (1969)
- 6) D.G. Brandon: Acta Met. 14, 1479 (1966)
- 7) 石田, 長谷川: 『生産研究』 20, 567 (1968)

次号予告 (11月号)

研究解説

光コーナ・リフレターの解析..... 藤井 陽一 中嶋 邦宏

研究速報

低濃度アルミニウム-銅二元合金凝固組織のマイクロ偏析観察..... 一片 貞文 高山 正邦 山 沢 富植 雄

気相から生長した鉄結晶にみられる対応粒界..... 石田 洋一 金子 恭二 郎

FLUCTUATIONS OF RESPONSE SPECTRA—PART II—..... Nobuyuki, SHIMIZU
—THEORETICAL EVALUATION ON THE EFFECT OF THE EARTHQUAKE DURATION—

中性子水分計による高炉用コークスの水分測定..... 本中 敏一 佐加 根 千乙 藤 正 富 丸 夫

RESPONSE OF STRUCTURE SYSTEM TO A MODEL EARTHQUAKE MOTION WITH TWO PREDOMINANT PERIODS Hisayoshi, SATO

人間-自動車系の最適設計 (第2報)..... 安部 正人

膜理論による液圧バルジ試験の弾塑性解析..... 山根 嘉昭 田内 昭人

マトリックス・ハイブリッド法による St. Venant ねじりの解析..... 山田 嘉昭 中 桐 塚 公 昭 滋 郎

背たけの低い圧縮型荷重計について..... 高井 光四郎 小倉 公 達

研究室紹介

渡辺研究室..... 渡辺 勝