

# 白錫單結晶の光像とそれによる結晶方向の決定 (III) 光像法による結晶方向の決定\*

山本美喜雄\*\* 渡邊慈朗\*\*

Mikio Yamamoto and Jiro Watanabé : Light Figures of Single Crystals of Tetragonal Tin and the Determination of Their Crystal Orientations by the Light-Figure Method, Part III. Orientation Determination by the Light-Figure Method.

The procedure for a perfect, accurate and rapid determination of orientations of tetragonal tin single crystals by the use of light figures has been worked out. Full accounts are given of necessary geometrical relationships, etching technique, measurable ranges and kinds of angles, stereographic representation of crystal orientations, and the accuracy with reference to various actual examples. It is shown that perfect determination of crystal orientations can be made with an accuracy well within 1° by the use of the {001}, {100} and {101} light figures produced by etching with concentrated aqua regia.

(Received October 21, 1952)

## I. 緒 論

第 I 部<sup>(1)</sup> および第 II 部<sup>(2)</sup> において正方型錫單結晶の光像現象に関する研究の結果を報告した。本第 III 部では錫結晶の光像の結晶方向決定への應用について記述する。我々はこれまでに光像を用いて結晶方向を決定する方法を等軸型<sup>(3)</sup>六方型<sup>(4)</sup>および三方型<sup>(5)</sup>の金屬單結晶に應用していづれの場合にも極めて満足すべき結果を得たが、今回正方型の錫單結晶の場合について研究を行い、これで純金屬のもつ總ての格子型について研究を完了した。光像による錫

單結晶の方位の決定はかつて Chalmers<sup>(6)</sup>によつて行われたことがある。彼は鹽化第二鐵の 5% 水溶液の腐蝕によつて得られる光像を用いて ±1° の正確度をもつて結晶方向を決定した。しかし我々が追試した結果によればこの試薬による腐蝕は 30 分程度の長時間を要し、しかも得られる光像の鮮明度はやゝ不足であつて、我々はこれよりも優れた腐蝕法を數種見出だした<sup>(2)</sup>。なお彼の用いた方位決定の手續きは我々のそれと異なる。

さて、白錫のごとき正方型の結晶においては通常主要結晶軸として四方軸 [001]、ならびに二方軸 [100] および [010] の 3 軸が採られる。今 Fig. 1 に示すごとく結晶試料の幾何學的軸  $\vec{OP}$  と [001], [100] および [010] 軸との成す角度をそれぞれ  $\theta, \alpha$  および  $\beta$  とすれば、これらの角度の間には

$$\cos^2 \theta + \cos^2 \alpha + \cos^2 \beta = 1 \dots\dots\dots(1)$$

なる關係がある。従つて  $\theta, \alpha$  および  $\beta$  の中のいづれか 2 個の角度を {001} および {100} 面の光像によつて直接に

(6) B. Chalmers, Proc. Phys. Soc., 47(1935), 733.

\*\* 東北大學金屬材料研究所  
\* 1950 年 10 月應用物理學會秋季大會に發表  
(1) 山本, 渡邊, 本誌, 17 (1953), 68.  
(2) 山本, 渡邊, 本誌, 17 (1953), 73.  
(3) 山本, 本誌, 5 (1941), 214; Sci. Rep. Tôhoku Univ., 31(1943), 191; 物理學講演集, 3(1943), 193.  
(4) 山本, 渡邊, 本誌, 13 (1949), No. 4; Sci. Rep. RITU, A 2 (1950), 270.  
(5) 山本, 渡邊, 本誌, 15 (1951), 572; Sci. Rep. RITU, A 4 (1953).

決定すれば結晶方向が完全に決定される。しかしながら一般に光像によつて直接決定し得る角度は主としてそれに對應する結晶面の法線の結晶試料の棒軸に對する傾きによつて制限されるので、結晶方向の如何によつては{001}および{100}光像だけではそれを完全には決定出来ない場合があり、そしてそのような場合には{001}および{100}以外の結晶面、たとえば{101}面の光像をも用いる必要がある。そのような任意の結晶方向を持つ錫單結晶の方位を完全に、正確に、そして迅速に決定するための手續きを確立するのが本研究の目的である。

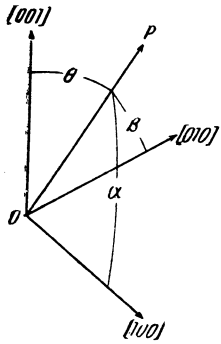


Fig. 1 An Orientation in Tetragonal Crystal Referred to the Principal Crystallographic Axes.

Fig. 1 An Orientation in Tetragonal Crystal Referred to the Principal Crystallographic Axes. The diagram shows a specimen axis P in a tetragonal crystal coordinate system defined by [001], [100], and [010] axes. The angle between P and the [001] axis is  $\theta$ . The angle between P and the [100] axis is  $\alpha$ , and the angle between P and the [010] axis is  $\beta$ .

II. 光像法による方位決定における必要な幾何學的關係、露蝕法、角度の測定可能範圍、ならびに方位の表示

A. 幾何學的關係

前述のごとく一般に錫結晶の結晶方向を完全に決定するためには{001}および{100}光像以外に少くとももう1種の結晶面の光像を用いなければならない。{001}および{100}面以外に光像を現わすのは{101}, {301}および{211}面である<sup>(1)(2)</sup>。そこでまづ第IおよびII群の光像<sup>(1)</sup>に共通な{101}光像を用いた場合に必要な幾何學的關係式について記述しよう<sup>(7)</sup>。なお式中の $\theta$ は試料軸と[001]方向との間の角度、 $\alpha$ および $\beta$ はそれぞれ[100]および[010]方向との間の角度、そして $\alpha', \beta', \gamma'$ および $\delta'$ はそれぞれ(101), (011), (101)および(011)面の法

線との間の角度である (Fig. 2)。また $\omega$ は[001]軸と{101}面の法線との間の角度であつて、

$$\cos \omega = 1 / [(c/a)^2 + 1]^{1/2} \dots \dots \dots (2a)$$

によつて與えられる。こゝに $c/a$ は軸比を表わし、錫に對しては0.545<sub>6</sub><sup>(1)</sup>である。

[I]  $\theta, \alpha$  および  $\beta$  の中の何れか二つを測定した場合に他の一つの角度を計算するには(1)式を用いる。

[II]  $\theta$  および  $\alpha'$  (あるいは $\gamma'$ ) を決定して、 $\alpha$  および  $\beta$  を計算するための式は

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \pm [\operatorname{cosec} \omega \cdot \cos \alpha' - \cot \omega \cdot \cos \theta], \\ \cos \beta &= [1 - \operatorname{cosec}^2 \omega (\cos^2 \alpha' + \cos^2 \theta) \\ &\quad + 2 \operatorname{cosec} \omega \cdot \cot \omega \cdot \cos \alpha' \cdot \cos \theta]^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

ただし、 $\pm$ はそれぞれ $\alpha'$ および $\gamma'$ に對應する。なお $\theta$ および $\beta'$  (あるいは $\delta'$ )の測定値から $\alpha$ および $\beta$ を決定するための式は(3)式と同形であるが、しかし $\alpha$ と $\beta$ とを置換えてまた $\alpha'$ の代りに $\beta'$ を、そして $\gamma'$ の代りに $\delta'$ を置いたものである。

[III]  $\alpha$  および  $\alpha'$  (あるいは $\gamma'$ ) の測定値から $\theta$ および $\beta$ を計算するための式は

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta &= \sec \omega \cdot \cos \alpha' \mp \tan \omega \cdot \cos \alpha, \\ \cos \beta &= [1 - \{\sec^2 \omega (\cos^2 \alpha' + \cos^2 \alpha) \\ &\quad \mp 2 \tan \omega \cdot \sec \omega \cdot \cos \alpha' \cdot \cos \alpha\}]^{1/2}. \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

ただし、式中の $\mp$ はそれぞれ $\alpha'$ および $\gamma'$ に對應する。なお $\beta$ および $\beta'$  (あるいは $\delta'$ )の測定値から $\theta$ および $\alpha$ を計算するための式も(4)式と同形であつて、 $\beta$ の代りに $\alpha$ を、 $\alpha'$ の代りに $\beta'$ を、そして $\gamma'$ の代りに $\delta'$ を置いたものである。

[IV]  $\alpha$  および  $\beta'$  (あるいは $\delta'$ ) の測定値から $\theta$ および $\beta$ を計算するための式は

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta &= \pm [(\sec \omega - \tan \omega \cdot \cos \omega) \cdot \cos \beta' \\ &\quad - \tan \omega \cdot \cos \omega (-\cos^2 \beta' + \sin^2 \alpha)^{1/2}], \\ \cos \beta &= \cos \omega [\pm \tan \omega \cdot \cos \beta' \\ &\quad + (-\cos^2 \beta' + \sin^2 \alpha)^{1/2}] \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

ただし式中の $\pm$ はそれぞれ $\beta'$ および $\delta'$ に對應する。なお、 $\beta$ および $\alpha'$  (あるいは $\gamma'$ )の測定値から $\theta$ および $\alpha$ を計算するための式は(5)式と同形であるが、唯 $\beta$ の代りに $\alpha$ を、 $\beta'$ の代りに $\alpha'$ を、そして $\delta'$ の代りに $\gamma'$ を置いたものである。

[V]  $\alpha'$  および  $\beta'$  (あるいは $\gamma'$ および $\delta'$ ) の決定値から $\theta, \alpha$  および  $\beta$  を計算するための式は

$$\left. \begin{aligned} \cos \theta &= [\operatorname{cosec} \omega \cdot \cot \omega (\cos \alpha' + \cos \beta')] \\ &\quad \mp \{(1 + 2 \cot^2 \omega) - \operatorname{cosec}^4 \omega (\cos^2 \alpha' + \cos^2 \beta')\}^{1/2} \end{aligned} \right\}$$

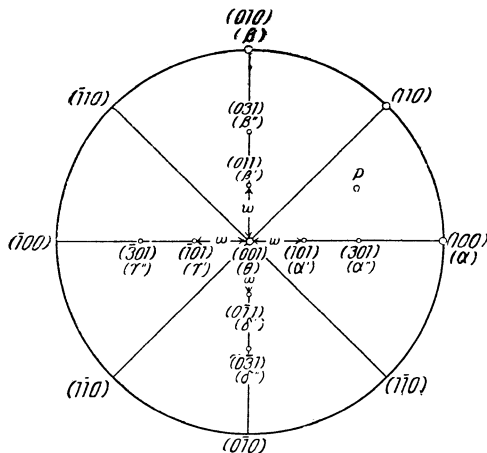


Fig 2 Stereographic Illustration of Various Angles which the Specimen Axis Makes with Normals of Principal Crystal Planes. P:specimen axis.

(7) これらの關係式の誘導は簡單であるから省略する。

$$\begin{aligned}
& +2 \operatorname{cosec}^2 \omega \cdot \cot^2 \omega \cdot \cos \frac{\alpha'}{\gamma'} \cdot \cos \frac{\beta'}{\delta'} \Big]^{1/2} \\
& / (1+2 \cot^2 \omega), \cos \alpha = \pm [\operatorname{cosec}^3 \omega \cdot \cos \frac{\alpha'}{\gamma'} - \cot^2 \omega \cdot \operatorname{cosec} \omega \cdot \cos \frac{\beta'}{\delta'} \pm \cot \omega \\
& \{ (1+2 \cot^2 \omega) - \operatorname{cosec}^4 \omega (\cos^2 \frac{\alpha'}{\gamma'} + \cos^2 \frac{\beta'}{\delta'}) + 2 \operatorname{cosec}^2 \omega \cdot \cot^2 \omega \cdot \cos \frac{\alpha'}{\gamma'} \cdot \cos \frac{\beta'}{\delta'} \}^{1/2} / (1+2 \cot^2 \omega),
\end{aligned} \quad \dots(6)$$

$\cos \beta_2 \cos \alpha$  に対する式において  $\alpha'$  と  $\beta'$  ならびに  $\gamma'$  と  $\delta'$  を置換えたもの。

ただし式中の  $\mp$  あるいは  $\pm$  の複號はそれぞれ  $(\alpha', \beta')$  および  $(\gamma', \delta')$  の組に對應する。

[VI]  $\beta'$  および  $\gamma'$  (あるいは  $\delta'$  および  $\alpha'$ ) の測定値から  $\theta, \alpha$  および  $\beta$  を計算するための式は

$$\begin{aligned}
& \cos \theta = [\operatorname{cosec} \omega \cdot \cot \omega (\cos \frac{\beta'}{\delta'} + \cos \frac{\gamma'}{\alpha'}) \\
& \mp \{ (1+2 \cot^2 \omega) - \operatorname{cosec}^4 \omega (\cos^2 \frac{\beta'}{\delta'} + \cos^2 \frac{\gamma'}{\alpha'}) + 2 \operatorname{cosec}^2 \omega \cdot \cot^2 \omega \cdot \cos \frac{\beta'}{\delta'} \cdot \cos \frac{\gamma'}{\alpha'} \}^{1/2} \\
& / (1+2 \cot^2 \omega), \\
& \cos \alpha = \pm [-\operatorname{cosec}^3 \omega \cdot \cos \frac{\gamma'}{\delta'} + \cot^2 \omega \cdot \operatorname{cosec} \omega \cdot \cos \frac{\beta'}{\alpha'} \mp \cot \omega \{ (1+2 \cot^2 \omega) - \operatorname{cosec}^4 \omega \times \\
& (\cos^2 \frac{\beta'}{\delta'} + \cos^2 \frac{\gamma'}{\alpha'}) + 2 \operatorname{cosec}^2 \omega \cdot \cot^2 \omega \cdot \cos \frac{\beta'}{\delta'} \cdot \cos \frac{\gamma'}{\alpha'} \}^{1/2} / (1+2 \cot^2 \omega), \\
& \cos \beta = \pm [\operatorname{cosec}^3 \omega \cdot \cos \frac{\beta'}{\delta'} - \cot^2 \omega \cdot \operatorname{cosec} \omega \cdot \cos \frac{\gamma'}{\alpha'} \pm \cot \omega \{ (1+2 \cot^2 \omega) - \operatorname{cosec}^4 \omega \\
& (\cos^2 \frac{\beta'}{\delta'} + \cos^2 \frac{\gamma'}{\alpha'}) + 2 \operatorname{cosec}^2 \omega \cdot \cot^2 \omega \cdot \cos \frac{\beta'}{\delta'} \cdot \cos \frac{\gamma'}{\alpha'} \}^{1/2} / (1+2 \cot^2 \omega).
\end{aligned} \quad \dots(7)$$

[VII]  $\alpha'$  および  $\gamma'$  (あるいは  $\beta'$  および  $\delta'$ ) の測定値から  $\theta, \alpha$  および  $\beta$  を計算するための式は

$$\begin{aligned}
& \cos \theta = 2 \sec \omega (\cos \frac{\alpha'}{\beta'} + \cos \frac{\gamma'}{\delta'}), \\
& \cos \frac{\alpha}{\beta} = 2 \sec \omega (\cos \frac{\alpha'}{\beta'} - \cos \frac{\gamma'}{\delta'}).
\end{aligned} \quad \dots\dots\dots(8)$$

なお、試料軸と  $\{301\}$ , すなわち  $(301), (031), (\bar{3}01)$  および  $(0\bar{3}1)$ , 面の法線との成す角度を  $\alpha'', \beta'', \gamma''$  および  $\delta''$  とすれば (Fig. 2),  $\theta, \alpha, \beta, \alpha'', \beta'', \gamma''$  および  $\delta''$  の間には上記と全く同一の關係式が成立するが、唯この場合の  $\omega$  は  $\{001\}$  軸と  $\{301\}$  面の法線との間の角度であつて、

$$\cos \omega = 1 / [9(c/a)^2 + 1]^{1/2} \dots\dots\dots(2b)$$

結局、上記の關係式から結晶試料の幾何學的軸の方位は  $(\theta, \alpha, \beta, \alpha', \beta', \gamma' \text{ および } \delta')$  あるいは  $(\theta, \alpha, \beta, \alpha'', \beta'', \gamma'' \text{ および } \delta'')$  の中いづれか 2 個の角変が知られれば完全に決定され、そして 3 個以上の角変が直接決定された場合にはその方位を check あるいは補正することが可能である。

### B 腐蝕法

光像法による錫單結晶の方位決定のために適した光像を得るための腐蝕法については第 II 部<sup>(2)</sup>において詳細に研究した<sup>(8)</sup>。その結果によれば、濃鹽酸+無水クロム酸(95:5)の比較的短時間の腐蝕によつて得られる  $\{001\}$ ,  $\{100\}$ ,  $\{101\}$ ,  $\{301\}$  および  $\{211\}$  光像(第 I 群<sup>(1)</sup>)の光像の中  $\{110\}$  光像を除く)ならびに濃厚な王水、過硫酸アンモンの飽和水溶液、鹽化第二鐵の飽和および 50% 水溶液、硫酸第二鐵の飽和水溶液 或ひは鹽化第二銅の 5% 水溶液の比較的短時間の腐蝕によつて得られる  $\{001\}$ ,  $\{100\}$  および  $\{101\}$  光像(第 II 群<sup>(1)</sup>の光像)が方位決定のために適する。この中でも特に王水ならびに鹽化第二鐵および硫酸第二鐵の飽和水溶液は腐蝕時間が短かくて済み、しかも他の試薬の場合よりも明確な對稱中心を持つ  $\{001\}$  光像を現わすから最適である。以下において述べる實驗には王水腐蝕によつて得られる第 II 群の光像を用いた。なお、かつて Chalmers<sup>(6)</sup> によつて用いられた鹽化第二鐵の 5% 水溶液による腐蝕は鮮明な光像を得るために長時間の腐蝕を要する欠點がある<sup>(2)</sup>。

### C. 直接測定可能な角度の範圍と種類

上述の腐蝕法に従つて表面を腐蝕した結晶試料の方位を決定するために用いた装置および手續きは等軸<sup>(3)</sup>および六方<sup>(4)</sup>型結晶の場合のそれらと全く同じであるからこゝには記述を省略する。

一般に光像によつて結晶方向を決定する場合に直接に、そして正確に測定し得る角度の範圍は第一に用いる光像を作り出す結晶面の試料軸に對する傾きによつて、第二にその光像の形狀および鮮明度によつて影響されることについては前報<sup>(8b)</sup>において詳述した。錫單結晶の第 II 群の光像に對しては、 $\{001\}$  光像によつて直接正確に測定され得る角度  $\theta$  の範圍は  $90 \sim 70^\circ$ ;  $\{100\}$  光像によつて決定される  $\alpha$  および  $\beta$  の範圍は  $90 \sim 40^\circ$ ; また  $\{101\}$  光像によつて決定される  $\alpha', \beta', \gamma'$  および  $\delta'$  (Fig. 2) の範圍は  $110 \sim 40^\circ$  である。また、第 I 群の光像においては  $\{001\}$ ,  $\{100\}$  および  $\{101\}$  光像の外に  $\{301\}$  および  $\{211\}$  光像も方位決定のために用いられ、 $\{301\}$  光像による直接測定可能な  $\alpha'', \beta'', \gamma''$  および  $\delta''$  (Fig. 2) の範圍は  $130 \sim 40^\circ$ , そして  $\{211\}$  光像による場合のそれは  $105 \sim 70^\circ$  であるが、たゞこの場合には  $\{001\}$  光像によつて正確に測定される  $\theta$  の範圍が第 II 群の場合よりも狭い。かように光像によつて正確に測定し得る角度は比較的狭い範圍に制限されるので、一つの結晶試料について測定し得る角度の種類と數もその方位の如何によつて異なる。錫結晶における第 II 群の光像によつて正確に測定し得る角度の種類、數および方位との關係を示せば Fig. 3 および Table 1 のごとくであつて、 $(001)-(100)-(110)$  のステレオ投影三角形は測定可能角度によつて A~I の 9 個の領域に分たれる。これらの

(8) 光像法による方位決定のために適當な腐蝕法の具備すべき條件については脚註(3)の論文を参照された。

表および圖から知られるごとく、測定し得る角度の数は領域によつて 2~7 に亘り、最低數 2 は [001] に極く近い

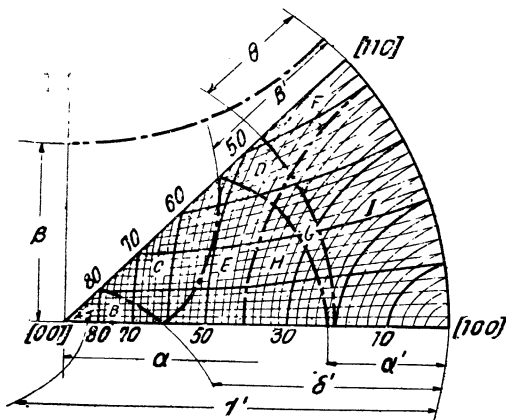


Fig. 3 Stereographic Representation of Measurable Ranges of Angles which can be Determined by Light Figures. of the Second Group.

Table 1 Tabulation of Orientation Ranges for Tetragonal Tin Crystal Rod where the Kind and Number of Light Figures Applicable to the Accurate Orientation Determination or of Angles Accurately Determinable by the Use of Light Figures of the Second Group Differ.

Mark of the orientation ranges	Kind and number of light figures applicable to the accurate orientation determination or of angles accurately determinable by the use of light figures of the second group		
	Number	Light figures	Angles
A	2	(100) & (010).	$\alpha$ & $\beta$ .
B	3	(100), (010) & $\bar{c}$ (101).	$\alpha$ , $\beta$ & $\gamma'$ .
C	4	(100), (010), ( $\bar{1}$ 01) & ( $\bar{0}$ 11).	$\alpha$ , $\beta$ , $\gamma'$ & $\delta'$ .
D	6	(100), (010), (101), (011), ( $\bar{1}$ 01) & ( $\bar{0}$ 11).	$\alpha$ , $\beta$ , $\alpha'$ , $\beta'$ , $\gamma'$ & $\delta'$ .
E	5	(100), (010), (011), ( $\bar{1}$ 01) & ( $\bar{0}$ 11).	$\alpha$ , $\beta$ , $\beta'$ , $\gamma'$ & $\delta'$ .
F	7	(001), (100), (010), (101), (011), ( $\bar{1}$ 01) & ( $\bar{0}$ 11).	$\theta$ , $\alpha$ , $\beta$ , $\alpha'$ , $\beta'$ , $\gamma'$ & $\delta'$ .
G	5	(010), (101), (011), ( $\bar{1}$ 01) & ( $\bar{0}$ 11).	$\beta$ , $\alpha'$ , $\beta'$ , $\gamma'$ & $\delta'$ .
H	4	(010), (011), ( $\bar{1}$ 01) & ( $\bar{0}$ 11).	$\beta$ , $\beta'$ , $\gamma'$ & $\delta'$ .
I	6	(001), (100), (101), (011), ( $\bar{1}$ 01) & ( $\bar{0}$ 11).	$\theta$ , $\beta$ , $\alpha'$ , $\beta'$ , $\gamma'$ & $\delta'$ .

領域 A のみに對應する。従つて、いかなる方位の結晶においても、結晶方向の正確なそして完全な決定が可能であり、3 個以上の角度が測定可能な大部分の領域の結晶については方位決定の check を行うことも出来る。なお中央の領域 G および H においては  $\theta$ ,  $\alpha$  および  $\beta$  の 3 個の角度の中の  $\beta$  のみが測定可能であるから、IIA において述べたごとく、結晶方向の完全決定のためには {001} および {100} 光像以外にもう一つの結晶面の光像を用いなければならぬ。

D. 結晶方向のステレオ投影的表示

最後に、決定された方位をステレオ投影網上に描記すれば相互の比較のために便利である。それには通常 Fig. 4 に示すごとく (001) 面を投影面とする標準投影網におい

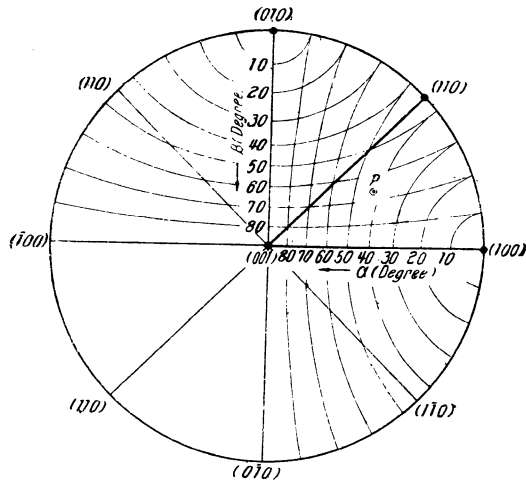


Fig. 4 Standard Stereographic Projection of a Tetragonal Crystal. Plane of Projection: (001).

て {001}, {100} および {110} 面の極点を大円で結ぶことによつて作られる 8 個の三角形の中の一つを用いる。そして結晶方向を [100] および [010] 軸と試料軸との間の角度  $\alpha$  および  $\beta$  を用いて描記する。Fig. 4 における P 點は  $\alpha=45^\circ$ ,  $\beta=65^\circ$  の方位を表わす。なお、この描記から  $\theta$  を直接知ることは出来ないが、そのためには Wulff の網を用いて、読みとるか、あるいは(1)式によつて計算すればよい。

III. 結晶方向決定の實例とその正確度

本實驗に用いた結晶試料は吸上法<sup>(9)</sup>および Bridgman の方法<sup>(10)</sup>によつて製作された長さ數cm, 直徑約 5 mm の

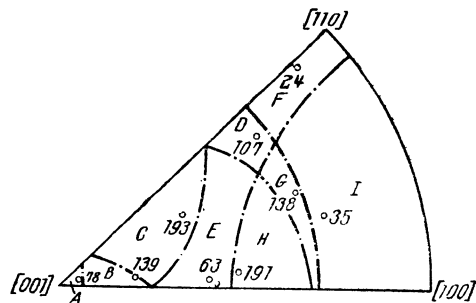


Fig. 5 Stereographic Representation of Orientations of Single Crystal Rods of Tetragonal Tin as Determined by the Light-Figure Method.

圓棒である。これらの結晶を王水で約 30 秒間腐蝕した後、装置に取り付けてその厚さの一樣な部分の 2~3 ケ所にお

(9) 山本および渡邊, 本誌, B-14(1950), No. 10(1), Sci. Rep. RITU, A-3 (1951), 165.

(10) Bridgman の方法による錫單結晶の製作については別に報告する。

Table 2 An Example of the Actual Determination of Crystal Orientations of Tin Single Crystals by the Light-Figure Method. Crystal No. 35 (Diameter 4.5mm; length 4.0 cm)

Measured point	$\theta$ (in degree)			$\beta$ (in degree)			$\alpha'$ (in degree)			$\beta'$ (in degree)			$\gamma'$ (in degree)			$\delta'$ (in degree)		
	Measured value	Mean value at each point	Final mean	Measured value	Mean value at each point	Final mean	Measured value	Mean value at each point	Final mean	Measured value	Mean value at each point	Final mean	Measured value	Mean value at each point	Final mean	Measured value	Mean value at each point	Final mean
1	73.0	73.0		74.6	74.7		45.8	45.7		67.8	67.8		100.6	100.6		82.5	82.5	
	72.7			74.7			45.6			67.8			100.5			82.5		
	73.2			74.8			45.6			67.8			100.6			82.6		
2	73.1	73.1	73.0	74.7	74.8		45.8	45.7	45.6	67.6	67.6	67.7	100.3	100.2	100.4	82.3	82.4	82.4
	73.1			74.8			45.6			67.7			100.2			82.4		
	73.0			74.6			45.8			67.6			100.2			82.4		
3	72.9	72.9		74.9	74.9		45.4	45.5		67.6	67.7		100.5	100.4		82.4	82.4	
	72.9			74.8			45.8			67.8			100.4			82.4		
	73.0			75.0			45.4			67.6			100.4			82.4		

Table 3 Selected Examples of Crystal Orientations of Tin Single Crystals, as Determined by the Light-Figure Method. (M) and (C) mark, respectively, the measured and the calculated values.

Crystal No.	$\theta$ degree	$\alpha$ degree	$\beta$ degree	$\alpha'$ degree	$\beta'$ degree	$\gamma'$ degree	$\delta'$ degree	Formulae used for calculation
24 Diameter : 4.3 mm Length : 3.0 cm No. of measured points : 2	84.8(M)	44.8(M)	45.7(C)	—	—	—	—	(1)
	84.8(M)	44.3(C)	46.2(M)	—	—	—	—	(1)
	84.6(C)	44.8(M)	46.2(M)	—	—	—	—	(1)
	84.8(M)	44.5(C)	45.9(C)	65.1(M)	—	—	—	(3)
	84.8(M)	45.2(C)	45.3(C)	—	65.4(M)	—	—	(3)
	84.8(M)	44.8(C)	45.6(C)	—	—	104.8(M)	—	(3)
	84.8(M)	44.0(C)	46.4(C)	—	—	—	104.5(M)	(3)
	84.7(C)	44.8(M)	45.7(C)	65.1(M)	—	—	—	(4)
	84.6(C)	44.8(M)	45.7(C)	—	65.4(M)	—	—	(5)
	84.5(C)	44.8(M)	45.7(C)	—	—	104.8(M)	—	(4)
	84.5(C)	44.8(M)	45.7(C)	—	—	—	104.5(M)	(5)
	84.9(C)	44.2(C)	46.2(M)	65.1(M)	—	—	—	(5)
	84.5(C)	44.3(C)	46.2(M)	—	65.4(M)	—	—	(4)
	84.3(C)	44.4(C)	46.2(M)	—	—	104.8(M)	—	(5)
	84.7(C)	44.3(C)	46.2(M)	—	—	—	104.5(M)	(4)
	84.6(C)	44.8(C)	45.6(C)	65.1(M)	65.4(M)	—	—	(6)
	84.6(C)	45.1(C)	45.4(C)	65.1(M)	—	104.8(M)	—	(8)
	83.2(C)	38.0(C)	52.1(C)	65.1(M)	—	—	104.5(M)	(7)
83.4(C)	42.0(C)	48.7(C)	—	65.4(M)	104.8(M)	—	(7)	
84.6(C)	44.6(C)	45.9(C)	—	65.4(M)	—	104.5(M)	(8)	
84.5(C)	44.7(C)	44.8(C)	—	—	104.8(M)	104.5(M)	(6)	
35 Diameter : 4.5 mm Length : 4.0 cm No. of measured points : 3	73.0(M)	23.1(C)	74.8(M)	—	—	—	—	(1)
	73.0(M)	22.3(C)	76.0(C)	45.6(M)	—	—	—	(3)
	73.0(M)	23.0(C)	75.0(C)	—	67.6(M)	—	—	(3)
	73.0(M)	24.1(C)	73.4(C)	—	—	100.4(M)	—	(3)
	73.0(M)	23.0(C)	74.9(C)	—	—	—	82.4(M)	(3)
	72.4(C)	25.2(C)	74.8(M)	45.6(M)	—	—	—	(5)
	73.1(C)	23.1(C)	74.8(M)	—	67.6(M)	—	—	(4)
	72.8(C)	23.3(C)	74.8(M)	—	—	100.4(M)	—	(5)
	72.9(C)	23.2(C)	74.8(M)	—	—	—	82.4(M)	(4)
	72.9(C)	22.7(C)	75.2(C)	45.6(M)	67.6(M)	—	—	(6)
	72.8(C)	23.0(C)	74.9(C)	45.6(M)	—	100.4(M)	—	(8)
	72.6(C)	23.6(C)	74.4(C)	45.6(M)	—	—	82.4(M)	(7)
	72.7(C)	22.9(C)	75.4(C)	—	67.6(M)	100.4(M)	—	(7)
73.0(C)	23.0(C)	75.0(C)	—	67.7(M)	—	82.4(M)	(8)	
72.8(C)	23.3(C)	74.6(C)	—	—	100.4(M)	82.4(M)	(6)	
78 Diameter : 4.3 mm Length : 3.0 cm No. of measured points : 2	8.8(C)	82.3(M)	85.8(M)	—	—	—	—	(1)
139 Diameter : 5.3 mm Length : 3.0 cm No. of measured points : 2	25.1(C)	65.2(M)	86.4(M)	—	—	—	—	(1)
	25.0(C)	65.2(M)	87.1(C)	—	—	53.5(M)	—	(4)
	25.0(C)	65.2(C)	86.4(M)	—	—	53.5(M)	—	(5)

いて各 3 回宛方位測定を行つてその平均値を採つた。その一例を Table 2 に示したが、これから光像による錫単結晶の方位決定は  $\pm 0.1$  の正確度をもつて行い得ることが知られるであろう。

次に、かようにして測定された角度の値を用いて前記の関係式 (1)~(8) によつて結晶方向を決定した実例の一部を Table 3 に示した。王水によつて腐蝕された錫結晶の (001), (100), (010), (101), (011), ( $\bar{1}01$ ), および ( $0\bar{1}1$ ) 面の光像によつて直接決定される角度  $\theta, \alpha, \beta, \alpha', \beta', \gamma'$  および  $\delta$  の直接にそして正確に測定し得る角度範囲は  $90^\circ > \theta > 70^\circ, 90^\circ > \alpha$  (および  $\beta$ )  $> 40^\circ$  ならびに  $110^\circ > \alpha'$  (および  $\beta', \gamma'$  および  $\delta'$ )  $> 40^\circ$  であり、従つてまた結晶試料の方位に

よつて直接測定可能な角度の種類と数とが異なり、(001)-(100)-(110) 三角形は Fig. 3. 示したとき 9 個の領域 A~I に分たれることを IIC において述べたが、Table 3 の実例はそれらのことと完全に一致する。最後に Table 3 から知られるごとく、これらの計算値および測定値は  $1^\circ$  以内で一致しており、光像法による錫単結晶の方位決定が十分に  $1^\circ$  以内の正確度をもつこと示す。

なお著者は上述の如くして光像法に依つて決定された方法が X 線的に背面反射ラウエ法に依つて決定されたけれど  $1^\circ$  以内で一致することをたしかめて居る。

本研究に要した費用の一部は文部省科学研究費によつて支辨された。