光 像 顕 微 鏡 の 試 作 と そ の 応 用*

渡 辺 慈 朗** 山 本 美 喜 雄***
為 藤 尚**** 加 藤 孝 治****

Jirô Watanabé, Mikio Yamamoto, Takashi Tametô and Kôji Katô: Light-Figure Microscope and Its Crystallographic Applications. "Light-Figure Microscope" has been newly devised for determining orientations of crystal grains of microscopic size rapidly, accurately and perfectly. The microscope consists of two main parts: one is an optical system which produces a clear-cut light figure in the viewing field of the microscope, and the other a goniometric mechanism which measures the orientation angles. Full accounts are given of the construction of microscope, the principle, procedure and accuracy of the orientation determination with actual examples. It can be applied to crystal grains having the smallest diameter of $15\sim 25\mu$ as well as to large single crystals with an accuracy well within $\pm 0.2^\circ\sim 0.5^\circ$. It can also serve as an usual metallurgical microscope.

(Received July 17, 1970)

I. 緒 言

よく知られているように、光像とは適当な腐食を施した結晶の表面に細い光線を投射し、その反射光線（透明な結晶では透過光線）をスクリーン上に受けた場合につくられる規則的な像をいう。この現象は腐食によって結晶表面につくられた食凹ないし食丘を構成する結晶小面、溝ないし稜による投射光束の反射ないし散乱によるものであって、

食像の構成要素の配置、したがってその形状が結晶学的な対称性を示すので光像もまた結晶学的な対称性を示す。例えば、等軸結晶の $\{100\}$, $\{110\}$ および $\{111\}$ 表面によってつくられる光像はそれぞれ 4 次、2 次および 3 次対称をもつ。この性質は方位決定のために応用される。著者のうち前二者（渡辺および山本）はこれまで光像を用いて種々の金属、合金、半導体、イオン結晶および酸化物の単結晶および多結晶の方位決定を試み⁽¹⁾、光像による方法は手続きが簡単で結晶学に関する初歩的な知識があれば誰でも行なうことができ、しかも測定精度は X 線回折法に比して劣らないことを示した⁽²⁾。ただ、従来の装置⁽³⁾はその構造上比較的大きな結晶の方位決定には有効であるが、微小な結晶や

** 東北大学金属材料研究所、現在：秋田大学鉱山学部（The Research Institute for Iron, Steel and Other Metals, Tohoku University, Sendai. Present address: Mining College, Akita University, Akita）

*** 東北大学金属材料研究所（The Research Institute for Iron, Steel and Other Metals, Tohoku University, Sendai）

**** ユニオン光学株式会社（Union Optical Co., Ltd., Tokyo）

* 1966 年 4 月本会東京大会に発表

(1) 例えば、山本、渡辺：金属物理，5 (1959)，196 参照。

(2) 山本、渡辺：応用物理，24 (1955)，122；Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ., A 9 (1957)，24。

(3) 山本、渡辺：応用物理，32 (1963)，834。

0.5~1 mm ϕ 以下の結晶粒を含む多結晶の方位決定には用いられない。

ところで、微小結晶ないしその集合体の方位決定は種々の状態から成長した微結晶(たとえば再結晶集合組織)、焼結粒子の方位関係の解析,あるいはまた異方性硅素鋼板や磁石材のアルニコV等の方位検査などに必要である。その基本的な方法はいうまでもなくX線回折法であるが、個々の微結晶の方位を決定するにはマイクロビームを用いる必要があり、そのために大きさが50 μ 以下になると露出に長時間を要し、多数の結晶粒の方位をきめるには大きな労力を費やさなければならない。最近、田岡ら⁽⁴⁾によって開発された傾角顕微鏡を用いる最大光量法は10 $\times$ 10 μ^2 の結晶粒の領域に対して適用でき、X線回折法にくらべ、原理、方位解析がともに直接的で測定時間も短かくてすみ、広く利用されている。

今回、著者らはより直接的な光像法の利点にかんがみて比較的大きな単結晶から15~25 $\mu\phi$ の微小結晶ないしその集合体の方位を簡単かつ完全に決定するための“光像顕微鏡”を、傾角顕微鏡を基礎にして、試作したのでその構造および原理、二三の金属に対する応用ならびに正確度について報告する。

II. 装置の構造

光像顕微鏡の構造をFig.1に、その外観をPhoto.1に示した。すなわち、主要部は結晶の微小領域の光像を観察

Fig.1 Construction of the Light-Figure Microscope

- ① Tungsten bulb (8~20 W, 4.5~7.0 V);
- ② Condenser lens; ③ Illuminator diaphragm;
- ④ Field diaphragm; ⑤ Specimen crystal;
- ⑥ Objective lens; ⑦ Beam splitter; ⑧ Erecting prism; ⑨ Bertrand's lens; ⑩ Protector eyepiece; ⑪ Bertrand's lens; ⑫ Photo lens;
- ⑬ Camera; ⑭ Vertical circle; ⑮ Horizontal circle; ⑯ Illuminating system for metallography

- (4) 田岡, 古林, 竹内: Japanese J. Appl. Phys., **4** (1965), 120; 田岡, 小笠, 古林, 竹内: 金属学会誌, **30** (1966), 820; 田岡, 為藤, 小笠, 古林, 竹内, 今村, 早川: Praktisch Metallographie, **5** (1968), 22.

するための光学系と方位角を測定するための測角器より成る。試料ステージ上に固定した結晶試料⑤の腐食表面に対して光源ランプ①からの白色光を対物レンズを通して投射し、その反射光線がつくる光像を接眼レンズ⑩を通して観察する。この場合、腐食表面を水平円⑮によってまた鏡筒を垂直円⑭によって、それぞれ適当な角度回転して投射光束を、光像を現わす結晶学的面に垂直に投射し、投射光束(したがって光像に対応する結晶面の法線)と結晶試料の幾何学的軸(棒状結晶の棒軸あるいは板状結晶の板面法線あるいは長軸)との間の角度を決定する。

Photo.1 Appearance of the Light-Figure Microscope

1. 光像の結像原理

本装置においては対物レンズの下におかれた結晶試料の結晶学的な面によってつくられる光像を接眼レンズの視野中に観察することが可能であるが、その結像の原理をFig.2に示した。すなわち、いま等軸結晶の(100)表面を適当に腐食し、それを対物レンズの前方に置き、それに対して後方焦点F'に集められた光束を投射したとする。この場合(100)表面には四角錐の食凹がつくられているものと

Fig.2 Light path producing the light figure

すれば、投射光束は対物レンズを通過した後平行光束となり (100) 表面に垂直に投射されると食凹の錐面 A, B, C および D によって反射されて、その反射光線は対物レンズを通ったのち後方焦点 F' 位置の垂直平面に於て収斂し、この位置に A_1, B_1, C_1 および D_1 光点よりなる 4 次対称の光像を結像する。したがって、この後方焦点位置の垂直平面を通常の接眼レンズにベルTRAN・レンズを組合わせて拡大観察すれば、当該光像を A_3, B_3, C_3 および D_3 光点として顕微鏡の視野の中にみることができる。

光像は、原理的には、結晶試料と対物レンズとの間の距離のいかんにかかわらず後方焦点 F' 位置の垂直平面に形成される。しかし、結晶表面が対物レンズの前方焦点位置 F よりもレンズに近ければ近いほど $A_1 \cdots D_1$ 光点同志の間隔がひろがって、光像は大きく映しだされることになるが、同時に光点の形成にあずかった光束は外側に大きく発散するので、實際上接眼レンズの中に光像をみることは次第に困難になる。また、試料面が F よりも遠方におかれるときには、その距離が大きくなるほど F' 位置の垂直平面につくられる $A_1 \cdots D_1$ 光点の間隔が縮小されて光像の形は小さくなるが、一方 Fig. 2 から容易にわかるように試料とレンズとの距離が遠くなるほど食凹の構成面 A...D からの反射光束は対物レンズを通らなくなるので、この場合にも光像は次第に観察困難になる。したがって、試料位置は対物レンズの前方焦点 F の位置の近傍が適当であるといえるが、そのような位置としては試料表面の組織観察も可能な対物レンズの作動距離の位置を選ぶならば、ベルTRAN・レンズを光路からはずすだけで光像の観察から組織の観察に切換えられるので好都合である。

2. 光 学 系

上述の原理を可能にするために採用した光学系は次の如くである。Fig. 1 に示すように、光源 ① (8~20 W, 4.5~7.0 V, W 電球) よりでる光線を集光レンズ②によって集めたのち、さらに対物レンズを通すことによって平行光線として試料表面⑤に投射される。この中、光源に近い絞り③は試料表面に投射する光束の平行度と光量とを変えるためのもので、その孔径はターレット回転方式によって 0.1, 0.2, 0.4 および 6 mm ϕ に変えられ、そしてそれはレンズ系によって縮小されて対物レンズの後方焦点位置に結像するように配置してある。この絞りを小さくすれば結晶に投射される光束の平行度はよくなり、したがって光像の形は尖鋭になるが、一方光量は減るので明るさは減少する。逆に、大きい絞りをいれれば光像の尖鋭さはなくなるが明るさをますことが期待される。また、光像は前述のように対物レンズの後方焦点位置の垂直平面に結像するから、この位置にできる絞り像⑥は光像を受像するスクリーンの役割をも果たす。

つぎに、もう一つの絞り④は結晶の照射面積を変えるた

めのものである。この絞りの孔径も 0.1, 0.2, 0.4 および 6 mm ϕ に変えられるようにしてあり、それはレンズ系によって縮小されて対物レンズの作動距離の位置に結像する。したがってこの位置に試料表面をおけば、その照射面積が制限されるが、それは $\times 20$ の対物レンズでは 25 $\mu \sim 1.5$ mm ϕ , $\times 30$ のレンズでは 15 $\mu \sim 0.9$ mm ϕ の範囲にわたる。なお、対物レンズはとくに長焦点距離をもった特殊のものである。二つの絞り③および④を用いることにより最低 15 $\mu \phi$ の結晶領域に光線を投射し、その微小領域からの光像を対物レンズの後方焦点位置の垂直平面に結像させるが、それを接眼レンズ⑩を通して直接観察するためには、接眼レンズの前方にベルTRAN・レンズ⑨を挿入し、さらに正像プリズム⑧を通して、対物レンズの後方焦点位置を約 4.5 倍の大きさに拡大して観察できるようにした。接眼レンズは光像観察だけのためには普通の金属顕微鏡に用いられている $\times 10$ の倍率のもので十分であるが、方位決定を行なうためにはクロス・ライン入りの 360° 角度目盛つきのものを使用する。そして、投射光束が結晶面に対して垂直に入射した場合に当該結晶面の光像の対称中心が接眼レンズのクロス・ラインの中心に一致するように配置してある。また、ベルTRAN・レンズはスライドさせることによって簡単に光路に挿入あるいは押し出すことができるようにしてあり、光路に挿入されていないときにはこの光学系は普通の光学顕微鏡のそれと全く同様に試料⑤の表面組織の観察に用いることができる。ただし、この装置では鮮鋭な光像をつくるために平行度の良好な光線が試料表面に投射できるように照明系の筒長を普通の光学顕微鏡よりもかなり大きくとってあるために、表面組織の解像力が劣ることになるので、表面組織を観察する場合には左側の光学系⑬に切換えるようにしてある。

また、光像および表面組織の写真撮影のためには対物レンズと接眼レンズの間に光線分割プリズム⑦をいれ、さらにベルTRAN・レンズ⑪と写真レンズ⑫によってカメラ⑬のフィルム面に結像するようにした。

本装置によって観察された光像とそれに対応する表面構造の実例を Photo. 2 に示した。これは過硫酸アンモンの希薄水溶液によって腐食した Cu の (100) 表面によって作られる光像を絞り③および④の孔径を種々変えて観察したものであり、写真の左から右側にむかうほど投射光束の平行度がよく、上から下に向かうほど投射光束の照射面積が小さいが、この写真から絞りの大きさによって観察される光像の形が異なることがわかる。投射光束の平行度がよいほど光像が鮮鋭であり、かつ照射面積が小さいほど光像は光点に分解されている。また写真からはわからないが、明るさは絞りが開いた場合の方が明るい。

3. 測 角 機 構

上述の光学系においては腐食結晶面に垂直に光束が投射されれば、その対応光像が接眼レンズの十字線の中心のま

Photo.2 Etch pits and the corresponding light figures of the {100} plane of a copper crystal, which are produced with various illuminating conditions (Etching : 10 percent aqueous solution of ammonium persulphate, several minutes)

わりに対称的に映しだされる。したがって、光像をそのように映しだすために結晶試料の幾何学軸あるいは投射光束を回転した角度を測定すれば、当該結晶面が試料の幾何学軸に対してなす角度を知ることができ、さらにそのデータから結晶方位を完全に決定できる。そのための測角は水平円⑬、垂直円⑭および接眼レンズの角度目盛の3機構によって行なわれる。すなわち、結晶試料⑤はステージ上にのせられ、その下の水平円⑬によって回転し、さらに鏡筒、したがって投射光束の方向が、垂直円⑭の回転によって傾斜することによって、結晶試料の所要の結晶面法線と投射光束とを一致させることができるようにしてある。もちろん、水平円と垂直円の回転軸は直角であって、結晶試料の表面にピントを合わせた作動距離の位置で両者の回転軸が1点において交わる。

いま、Fig.3の直角座標系XYZにおいて、水平円の回転軸をZ軸とし、垂直円の回転軸をX軸にとり、そして任意の方向 $\vec{OP}$ はそれぞれ水平円の φ_0 なる角度および垂直円のZ軸位置からの θ_0 なる角度の回転によって投射光束と一致させ得るものとする。しからば、Fig.1とFig.3の対比からわかるように $\vec{OP}$ はまず水平円の φ_0 なる角度の回転によってYZ面内の $\vec{OP}_1$ に移動し、さらに垂直円、したがって投射光束、の θ_0 なる角度の回転によって投射光束と一致するから、 $\vec{OP}$ のXYZ座標系における極座標は

$(\theta_0, \pi/2 - \varphi_0)$ である。ここでもう一つの方法 $\vec{ON}$ は水平円および垂直円をそれぞれ φ_c および θ_c なる角度回転することによって投射光束と一致させ得るとすれば $\vec{ON}$ の極座標は $(\theta_c, \pi/2 - \varphi_c)$ となるから、 $\vec{OP}$ と $\vec{ON}$ との間の角度 δ は

$$\cos \delta = \cos \theta_0 \cdot \cos \theta_c + \sin \theta_0 \cdot \sin \theta_c \cdot \cos(\varphi_0 - \varphi_c) \quad (1)$$

によって与えられる。この式は本装置の水平円および垂直

Fig.3 Illustration of the goniometry of the horizontal circle and the vertical circle

円による測角の一般式であり、 (θ_0, φ_0) を試料の幾何学軸として (θ_c, φ_c) を観察光像の対応結晶面の法線に対応させれば試料軸と当該結晶面の法線との間の角度が知られる。水平円は $\pm 110^\circ$ 、垂直円は $\pm 90^\circ$ に 1° 間隔で目盛りされており、ともに副尺によって 0.1° まで読みとることができる。また、試料を支持するステージとしては Photo.3 に示す

Photo.3 Specimen stage for rod crystals

如きものを用い、板状あるいは棒状試料の長軸を $(\theta_0=90^\circ, \varphi_0=0^\circ)$ (Fig.3 の Y 軸) に固定できるようにした。さらに、このステージの下部には 25 mm にわたって 1/100 mm の精度で微動可能なクロス・スライドがつけてあり、所要の結晶粒を容易に選択できるようにしてある。この場合に顕微鏡を表面組織観察光学系に切換えて結晶粒組織を観察しながら所定の結晶粒を選びだしたのち、光像観察光学系に切換えれば Fig.3 の XYZ 座標系の原点 O は当該粒子の表面に位置することになるから、水平円および垂直円を動かしても投射光束はつねに選択した結晶粒を照射する。

さて、板状あるいは棒状試料について結晶軸の方位を完全に決定するためには、少なくとも二つの結晶面あるいは結晶軸との間の角度を決定する必要がある。とくに試料中に含まれる微小結晶粒ではその自由表面が制限されるので、ただ 1 個の光像しか観察されないのが普通である。そのような場合にはただ 1 個の光像によって結晶方位を完全に決定しなければならないが、そのためにはもう一つ接眼レンズ内の角度目盛りによる測定が必要となる。それについては III. において詳しく述べるが、接眼レンズ内の周辺に 360° の角度目盛りが附され、そしてその $90^\circ \sim 270^\circ$ および $0^\circ \sim 180^\circ$ のクロス・ラインが Fig.3 の X 軸および Y 軸のレンズ面上の投影に一致するように配置されており、クロス・ラインの一つからの偏倚の角度が副尺によって $5'$ まで読みとり可能である。

III. 方位決定の手続き、実例および正確度

1. 手 続 き

(1) 幾何学的計算

結晶方位、すなわち主要結晶軸と試料の幾何学軸とのなす角度を完全に決定するためには、幾何学軸と少なくとも二つの結晶面ないし結晶軸とのなす角度を測定しなければならない。そのためには二つの結晶面の光像を用い

て、それぞれの結晶面法線と幾何学的軸との間の角度を (1) 式によって求めればよいことになるが、そのようなことは実際上等軸型の単結晶の場合にしか行ない得ない。それは、本装置の投射光束を傾ける垂直円の回転角度に制限があること、等軸結晶以外のものでは対称性がひくいために光像をあらわす主要結晶面の数が少なく、かつそれらの結晶面は互いに大きな角度をなすことによるものである。このために本装置ではただ 1 個の結晶面の光像によって結晶方位の完全決定を行なうが、それには主要結晶面の光像を構成する線あるいは光点と中心を結ぶ直線はその結晶面内にある特定の結晶軸に一致する性質⁽⁵⁾を利用する。

いま、Fig.4 において X 軸を垂直円の回転軸、Z 軸を水

Fig.4 Illustration for the determination of crystal orientations by using only one light figure corresponding to the principal crystal plane

平円の回転軸とし、それらの零点からの θ_c および φ_c なる角度の回転によって (hkl) 面の光像が接眼レンズのクロス・ラインの中心に対して対称的に観察されたとしよう。そうすると、この配置においては投射光束は (hkl) 面の法線 $\vec{OC}$ と一致するから、図から明らかなように (hkl) 面は Y 軸から YZ 面内に θ_c なる角度はなれた Y' 軸と X 軸を含む XY' 面に一致し、それは光像観察面 xy に平行である。この場合、光像は図のように十字矢の形をもち、その矢は $\langle uvw \rangle$ 軸に一致するものとする。そして接眼レンズの目盛りによって、この矢が Y' 軸の xy 面上への投影である y 軸に対してなす角度 ω が測定されたとすれば、この矢に対応する $[uvw]$ 軸は明らかに XY' 面内の Y' 軸から ω なる角度の $\vec{OA}$ に位置することになる。ここで、試料の幾何学軸 $\vec{OP}$ は垂直円および水平円の零点から (θ_0, φ_0) の角度の回転によって投射光束と一致させ得るとすれば、 (hkl) 面の法線 $\vec{OC}$ が投射光束と一致した配置 (Fig.4) においては

(5) 山本, 渡辺: 金属学会誌, 20 (1956), 85; Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ., A 9 (1957), 410.

図のように $\vec{OP}$ は $(\theta_0, [\pi/2 - (\varphi_0 - \varphi_c)])$ の極座標にある。ここで、 $\vec{OP}$ と $\vec{OC}$ との間の角度を $\delta_{(hkl)}$ とすれば、それは (1) 式によって与えられ、また $\vec{OP}$ と $\vec{OA}$ との間の角度を $\delta_{(uvw)}$ とすれば

$$\begin{aligned} \cos \delta_{(uvw)} = & \sin \omega \cdot \sin \theta_0 \cdot \sin (\varphi_0 - \varphi_c) \\ & + \cos \omega \cdot \sin \theta_0 \cdot \cos \theta_c \cdot \cos (\varphi_0 - \varphi_c) \\ & - \cos \omega \cdot \cos \theta_0 \cdot \sin \theta_c \end{aligned} \quad (2)$$

によって与えられる。II・3 において述べたように板状あるいは丸棒のように細長い試料の場合には試料の長軸を $\theta_0 = 90^\circ$, $\varphi_0 = 0^\circ$ (Fig. 3 の Y 軸) に沿って固定すれば、(1) および (2) 式から長軸に対する角度はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} \cos \delta_{I(hkl)} &= \sin \theta_c \cdot \cos \varphi_c \\ \cos \delta_{I(uvw)} &= \cos \omega \cdot \cos \theta_c \cdot \cos \varphi_c - \sin \omega \cdot \sin \varphi_c \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

となる。そしてまた板状試料では同時にその板面法線が Z 軸に一致するようになるので、 $\theta_0 = 0^\circ$ になり板面法線に対する角度はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} \delta_{n(hkl)} &= \theta_c \\ \cos \delta_{n(uvw)} &= -\cos \omega \cdot \sin \theta_c \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

によって与えられる。すなわち、(3) および (4) 式によれば丸棒あるいは板状試料では試料の長軸を ($\theta_0 = 90^\circ$, $\varphi_0 = 0^\circ$) に固定し、水平円および垂直円を適当に回転することによって接眼レンズの視野中に光像をとらえ、その対称中心をレンズのクロス・ラインの中心と一致せしめた位置における垂直円と水平円の読み (θ_c , φ_c) を記録し、さらに接眼レンズのクロス・ラインの一つである Y ($0^\circ \sim 180^\circ$) ラインに対して光像の $[uvw]$ 矢がなす角度 ω を測定すれば、 θ_c , φ_c および ω の測定データから試料軸と (hkl) 面の法線とのなす角度 $\delta_{(hkl)}$ および $[uvw]$ 軸となす角度 $\delta_{(uvw)}$ の合計二つの角度が決定できるから、結晶軸の方位を完全にきめることができる。この手続きは光像が観察されさえすれば適用できるから、単結晶から、本光学系が許す $15 \mu\phi$ の大いさの結晶粒を含む多結晶にまで用いられる。 $15 \mu\phi$ 以下の粒径の多結晶体では隣接する結晶粒の光像が重なり合うので不都合である。

(2) ステレオ投影

上記の手続きはステレオ投影を用いれば、計算なしに結晶方位を測定値から投影図に描くことができる。Fig. 5 に観察光像の対応結晶面 (hkl) を投影面にした描記法を示した。Fig. 4 との対応からわかるように (hkl) 光像の十字矢は (hkl) 面内の $[uvw]$ 軸に対応するから、Fig. 5 において十字矢の一本が指向する基円上の一点 A をとれば A は $[uvw]$ に対応する。つぎに、A 点から基円上に ω なる角度をなす点 Y' をとり、Y' と中心点を結ぶ大円 YZ をひく、そしてこの大円上に Y' に対して θ_c の角度の点 Y および中心から θ_c の点 Z をとる。さらに Z 点を中心とし Y 点を通る 90° の大円を描き、基円との交点を X とすれば、この X, Y および Z 点は Fig. 4 の直角座標軸 X, Y および Z に対応する。そこで XY 大円上に Y 点から $\varphi_0 - \varphi_c$ の角度の

点 B をとり、Z 点と B 点を通る大円をかき、その上に Z 点から θ_0 の角度の点 P をとればこれが求める試料の幾何学的軸の方位である。なお、前述のように板状試料において長軸を ($\theta_0 = 90^\circ$, $\varphi_0 = 0^\circ$) におけば板面法線は ($\theta_0 = 0^\circ$) になるから Fig. 5 の Z 点が板面法線に一致し、そして P 点は

Fig. 5 Stereographic determination of crystal orientations by using only one light figure corresponding to the principal crystal plane

XY 大円上 Y 点から -X 点側に φ_c なる角距離をへだてた点としてとられる。以上の描記法のほかに Z 軸ないし板面法線を投影中心としてステレオ投影図の上に (hkl) 面および $[uvw]$ 軸の極点を描記することによって結晶方位を表示することも可能である。なお、ステレオ投影の角度読みとりに用いる Wulff の網は、 2° 目盛間隔であるのであるべく直径の大きいものを用いないと不正確になるおそれがあるが、計算を必要としないから集合組織におけるような多結晶中の多数の結晶粒の方位決定を行なう場合にはステレオ投影による方法が便利である。

Table 1 An actual example of the orientation determination by the present microscope for a single crystal rod of white tin, (diameter, ~ 5 mm; length, several cm; etching reagent, aqua regia)

(a) The results of angle measurement

Measured point	φ_c (degree)	θ_c (degree)	ω (degree)
1	-2.1	7.3	81.3
	-2.6	7.1	81.1
	-2.7	7.2	81.5
2	-2.1	7.3	81.2
	-2.1	7.1	81.1
	-1.9	7.2	81.3
Final mean value	-2.2	7.2	81.2

(b) The results of orientation calculation

θ_I (degree)	α_I (degree)	β_I (degree)	Remark
79.1	82.8	13.2	Present method
79.7	81.9	13.1	Back Laue method

2. 実例および正確度

上記の方法による方位決定の二三の実例を Table 1 および 2 に示した。Table 1 は直径 5 mm, 長さ数 cm の正方形の白錫単結晶の丸棒について, (100) 光像とそれの [001] 矢 (王水腐食⁽⁶⁾) を用いて φ_c , θ_c および ω を直接測定

[001] 軸に対する角度であり, 添字 l および n はそれぞれ長軸および板面法線に対応する。比較のためにステレオ投影図 (直径 20 cm) を用いて測定値から計算なしに求めた方位値を表に併記したが, それは計算値とよい一致を示した。

Table 2 Other selected examples of the orientation determination by the present microscope for crystal grains of polycrystalline α -iron strip (thickness, 3.5 mm; width, 7 mm; length, 1 cm; etching reagent, 20% aq. sol. of $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$)

Grain	Grain size (mm ²)	Orientation angle (degree)									Remark
		φ_c	θ_c	ω	α_l	β_l	γ_l	α_n	β_n	γ_n	
A	3	-19.5	1.9	59.1	88.2	84.6	5.7	1.9	89.4	91.8	Calculation
					88	85	6	2	89	92	Stereo-plot
B	1	-48.6	3.8	42.2	92.5	51.5	38.6	3.8	86.7	88.2	Calculation
					92	51	39	4	87	88	Stereo-plot

し, その測定値を用い (3) 式によって棒軸と [100] 軸 ((100) 面の法線) とのなす角度 α_l ならびに [001] 軸とのなす角度 φ_l を求め, さらに棒軸と [010] 軸との間の角度 β_c を計算したものである。光像による角度測定は試料表面上の異なる二つの位置において 3 度ずつ行なったが, それらは十分 $\pm 0.2^\circ \sim 0.5^\circ$ の正確度で決定できる (Table 1(a) 参照)。また, この測定値から計算された θ_l , α_l および β_l の方位値は背面反射ラウエ法によってきめられた値とよい一致を示した (Table 1(b) 参照)。Table 2 は α 鉄多結晶板 (長さ 1 cm, 巾 7 mm, 厚さ 3.5 mm) に含まれる小結晶粒の長軸および板面法線に対する方位を (100) 光像とそれの [011] 矢 (過硫酸アンモンの 20% 水溶液腐食⁽⁷⁾) を用いて決定したものである。表の α , β および γ はそれぞれ [100], [010] および

IV. 結 言

光像法によって顕微鏡的寸法の結晶粒を含む多結晶の結晶方位を簡単かつ正確に決定するために光像顕微鏡を試作し, その適用範囲, 方位決定の手続き, ならびに正確度を検討した。本装置においては適当な腐食を行なった結晶を対物レンズの下におき, それに投射された光束の反射によってつくられる光像を接眼レンズの中に観察できるようにしたもので, 三つの測角機構によってただ 1 個の光像を用いだけで結晶軸の方位を完全に決定できる。単結晶には勿論, 最小粒径 $15 \sim 25 \mu\phi$ の結晶粒の方位決定に用いることができる。実際に α 鉄多結晶板および白錫単結晶の方位を決定した結果によれば, $\pm 0.2^\circ \sim 0.5^\circ$ の正確度における測定が可能であり, X線法にくらべ正確度の点で劣らないうえに手続きのうえでははるかに簡単である。また, 光学系の切換えによって通常の顕微鏡と同様の表面組織の観察にも用いることができる。

最後に本装置の試作にあたり一方ならぬ便宜を与えて下された田岡忠美博士に深甚なる感謝の意を表します。

(6) 山本, 渡辺: 金属学会誌, 17(1953), 68; Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ., A 7(1955), 145.

(7) 山本: 金属学会誌, 5(1941), 324; 山本, 渡辺: 金属学会誌, 16(1952), 136.