

始



# 京都市工業研究所報告

第七號

アルミニウム単一結晶板に及ぼす壓縮の影響

(第二報)

昭和五年六月

京都市工業研究所

14.2  
1  
642

14.24-642

1

アルミニウム<sup>板</sup>単一結晶に及ぼす  
壓縮の影響 (第二報)

深見芳雄

緒言

金屬板や金屬線を金槌でたたく (hammering), 引き伸ばす (drawing), 壓縮 (compression), 壓延 (rolling), 撓屈 (bending) 等の冷温加工によつて著しくその硬度や弾性率等の機械的性質の變化する事は古くから知られてゐるところである。これは如何なる理由に基くかは現今尙興味ある問題として残されてゐるのであるが最近著しく發達した X 線的研究の結果以上の如き冷温加工によつて著しくその内部構造の變化する事が明らかになつたのである。乃ち金屬を構成してゐる微結晶 (micro-crystal) は加工によつてある規則正しい排列をなすのである。それで如何なる排列をなすかといふ事が多くの人々によつて研究された結果その排列の仕方は集合結晶 (poly-crystal) から始めた場合でも単一結晶 (single crystal) から始めた場合でも遂には結晶學的にいつて微結晶はすべてあるきまつた一結晶軸 (crystallo-graphic axis) に平行する様に排列するのであつてそれは纖維狀組織 (fibrous structure) と呼ばれてゐる。そして纖維軸となるべき結晶軸及びこの結晶軸の試料 (specimen) に對する方向等は金屬の種類並に加工の方法等に關係するのである。例へばアルミニウム, 銅, 金, 白金等の面中心立方格子型 (face centred cubic lattice) に屬するものゝ集合結晶から始めた場合についてはアルミニウム, 銅の針金をダイスを通して引き伸ばすと [111] 軸が纖維軸となりその軸は針金を引き伸ばした方向と略平行してゐる。金箔を金槌で打ちのぼした時には (100) 面が試料の面に平行に排列しこれを壓延した場合には (110) 面が試料の面に平

發行所寄贈本

行して〔211〕軸が壓延の方向と平行してゐる。白金を壓延した場合には(110)面が試料の面に平行し(211)面に直角な方向が壓延の方向と平行する。アルミニウムを壓縮した場合〔110〕軸が纖維軸となりこれが壓縮の方向と平行してゐる。六方柱稠密格子型(hexagonal close packed)に屬する亜鉛を壓縮した場合には〔0001〕軸が纖維軸となりこれが壓縮の方向に平行である。次に單一結晶からなる金屬の場合において、例へばアルミニウムの單一結晶を充分壓延した場合には纖維軸は常に壓延の方向と一致するのであるがこれを三種にわけることが出来る。一つは〔110〕軸が纖維軸で(001)面が試料の面に平行であり、一つは〔112〕軸が纖維軸で(110)面が面に平行であり、もう一つは〔111〕軸が纖維軸で(110)面が面に平行となる。またアルミニウムの單一結晶を撓屈した場合には撓屈の軸が常に纖維軸の方向と一致するのである。以上の實例は筆者の御指導にあづかつた諸先生並びに諸先輩の研究された結果であるが未だ單一結晶からなるアルミニウム板を壓縮した場合の研究報告には接しないのである。それで筆者は單一結晶からなるアルミニウム板を壓縮した場合の微結晶の排列を研究し、僅かばかり壓縮した場合につき前回の報告に發表したのであるが、其の後引きつゞき研究し尙一層壓縮を進めた場合の研究を此回發表する次第である。

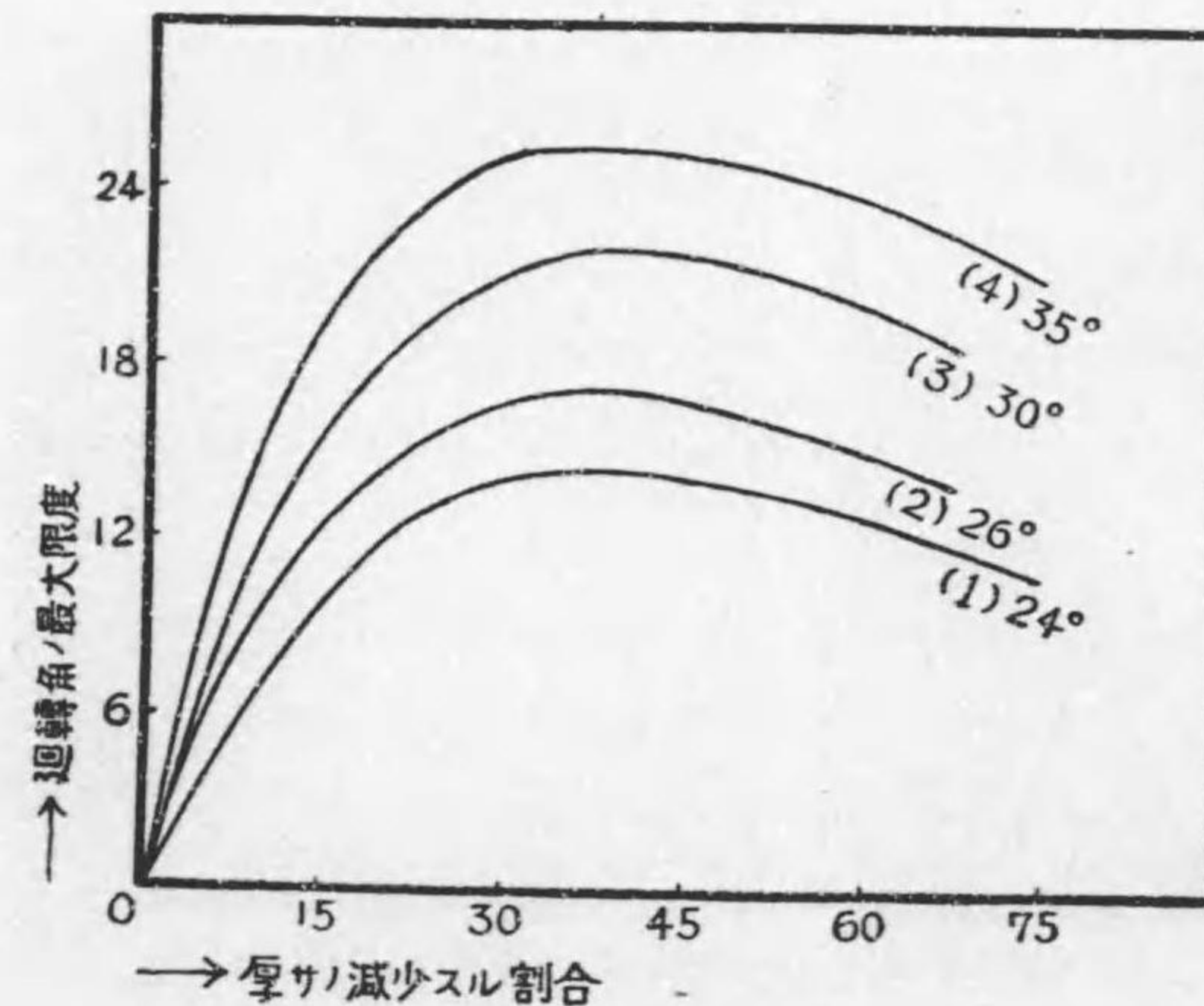
### 摘 要

單一結晶からなるアルミニウム板を壓縮した場合に單一結晶の崩壊によつて生じた微結晶は廻轉するのであるが、その廻轉の仕方は試料の面に對して最も小なる傾斜をもつ(110)面が試料の面に平行する様に微結晶は廻轉するのであつて、その廻轉軸は試料の面とほとんど平行をなす〔111〕軸か〔110〕軸か或は〔112〕軸の何れかである。尙壓縮による微結晶の廻轉角の最大限度と試料の厚さの減少する割合との間に如何なる關係があるか調べて見たところ廻轉角の最大限度は試料が最初の厚さの約30%—45%程の壓縮を受けた場合には極大値をとる事が明らかになつた。尙ほ壓縮による微結晶の結晶方位(crystallographic orientation)の崩れ方は壓縮によつて生ずる試料の流れ方にも餘程影響されるものであるから微結晶の晶結方位の崩れ方と壓縮による試料の流れ方との間の關係をも

多くの異つた形をもつ試料について調べて見た。尙ほ圓盤状の料料の最初の厚さの70%以上の厚さの減少に對しては微結晶は試料の面に垂直な方向を軸とする廻轉がおりその纖維軸は〔110〕軸である。

この研究を遂行する上においては寫眞の乾板に表はれる延びたラウエ斑點(Laue-spot)の兩端を出来るだけ正確に知る事が最も必要なことである。それ故に筆者は概してタングステンを對陰極としたクーリッジX線管球(Coolidge-X-ray-tube)を用ひまた延びたラウエ斑點が寫眞の乾板から外へはづれない様になるべく大きな寫眞カメラを用ゆる様にした試料の壓縮には最大限度30噸の水壓機を用ひ少しづつ壓縮を加へその都度ラウエ寫眞(Laue-photograph)を撮つた、この様な場合常に試料の面に垂直な方向に直径0.5mmの細隙を二回通して極く細く平行になつたX線をあてたのである。そして京都帝大理學部吉田教授の考案による結晶儀(crystallographic globe)によつて寫眞の乾板に表はれる延びたラウエ斑點から容易に微結晶の廻轉角の最大限度を知る事が出来た。微結晶の廻轉角の最大限度と壓縮による試料の厚さの減少する割合との間の關係は第一圖に示す通りである。前回の報告では略正方形をなす單一結

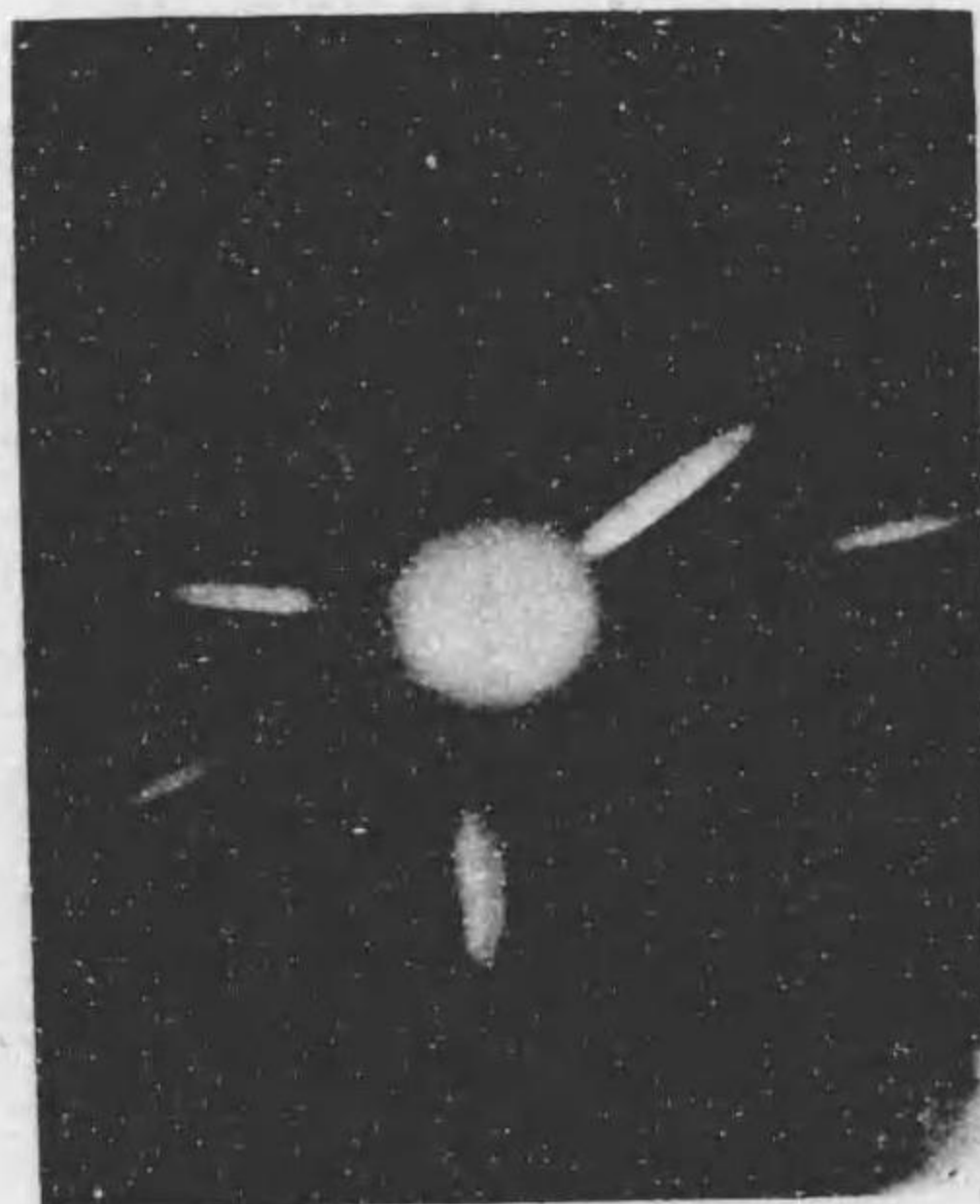
第 一 圖



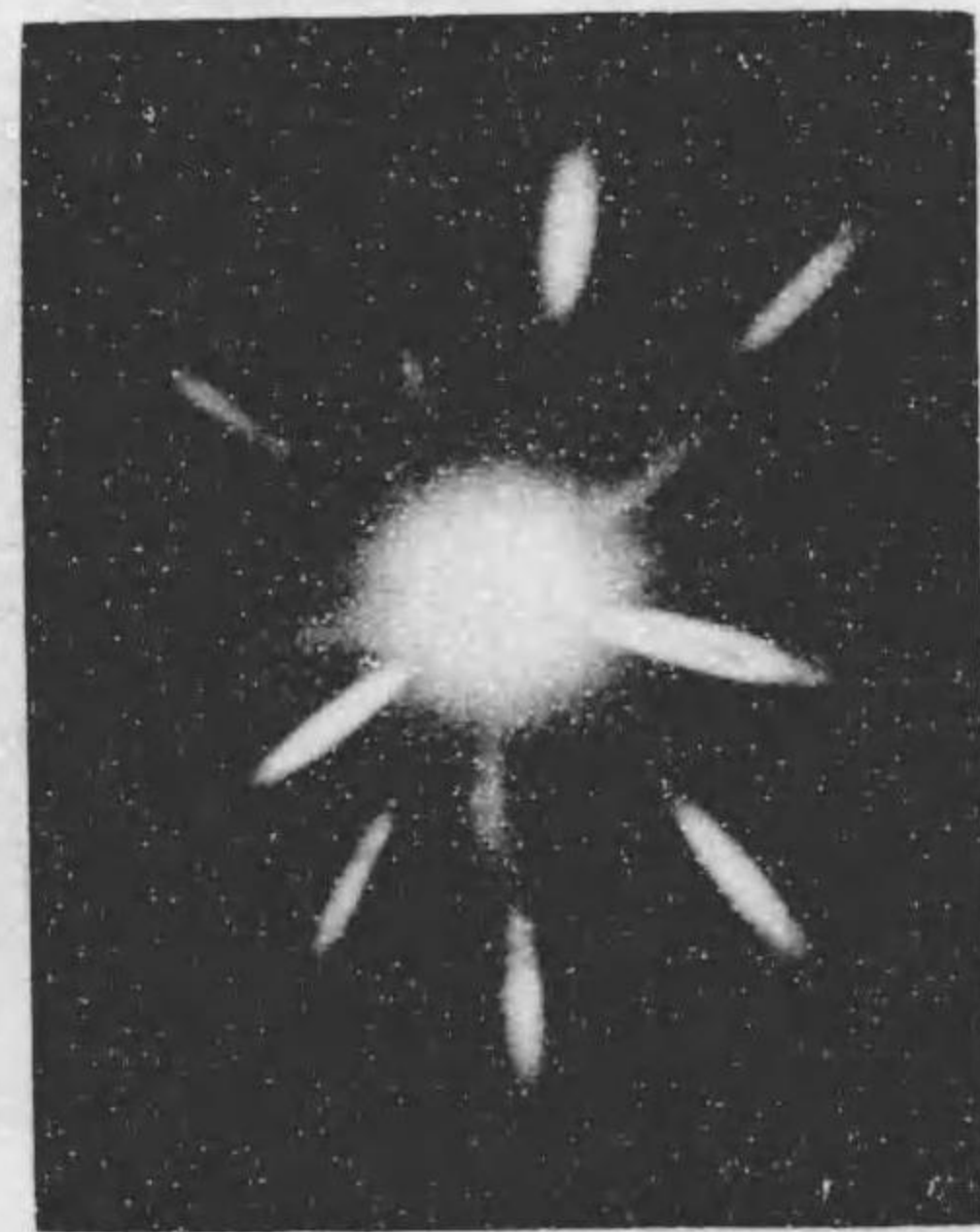
晶板の略中心における微結晶の廻轉角の最大限度と壓縮による試料の厚さの減少する割合との關係であつた其場合には微結晶の廻轉軸となるべき結晶軸は〔110〕軸の内で試料

の面に對し最も小なる傾斜をなす〔110〕軸であつた。第一圖において曲線(1)と(4)に對應する試料の形は長方形であつてその長邊は短邊よりも約六倍ばかり長いのである。この場合では後に委しく述べる積りであるが試料が如何に壓縮されても〔111〕軸,〔110〕軸,〔112〕軸の内では長邊と最も小なる傾斜をなす軸を廻轉軸として微結晶が廻轉するのである。それでこの様な廻轉軸の廻りの微結晶の廻轉角の最大限度と壓縮による試料の厚さの減少する割合との關係を曲線(1)と(4)で示してゐるのである。第一圖の曲線(2)と(3)に對應する試料の形は何れも直徑10mm.の圓盤狀の試料である。これも後に委しく述べるつもりであるがこれら圓盤狀の試料の微結晶の廻轉軸はほとんど試料の面に平行であつて、この廻轉軸は最初の厚さの30%の厚さにまで壓縮されても變化しない。それでこの様な廻轉軸の廻りの廻轉角の最大限度と試料の厚さの減少する割合との關係を第一圖の曲線(2)と(3)に示してゐるのである。此の圖に示してゐる如く微結晶のかゝる廻轉角の最大限度は最初の僅かの壓縮に對して非常に急激に増加し試料となる。單一結晶の最初の結晶方位の如何にかゝらず最初の厚さの30%—45%程の厚さの減少に對してこの廻轉角の最大限度は極大値をとりそれから尙これ以上の壓縮を進めるにしたがつて漸次減少するのである。第二圖,第三圖,第四圖は第一圖に示された

第二圖



第三圖



第四圖



曲線(1)に對應する試料について撮つたラウエ寫眞でありこれらは各々最初の厚さの30%,47%,70%の厚さの壓縮をうけた時の寫眞である。圖の中央はX線が試料を通過して直接に投射した處でありこれより放射狀になつてゐる斑點はX線が試料内の微結晶の結晶面によつて反射せられて乾板に感光した部分であり、これらの圖より壓縮により試料内の微結晶はある規則正しい崩れ方をする事が容易

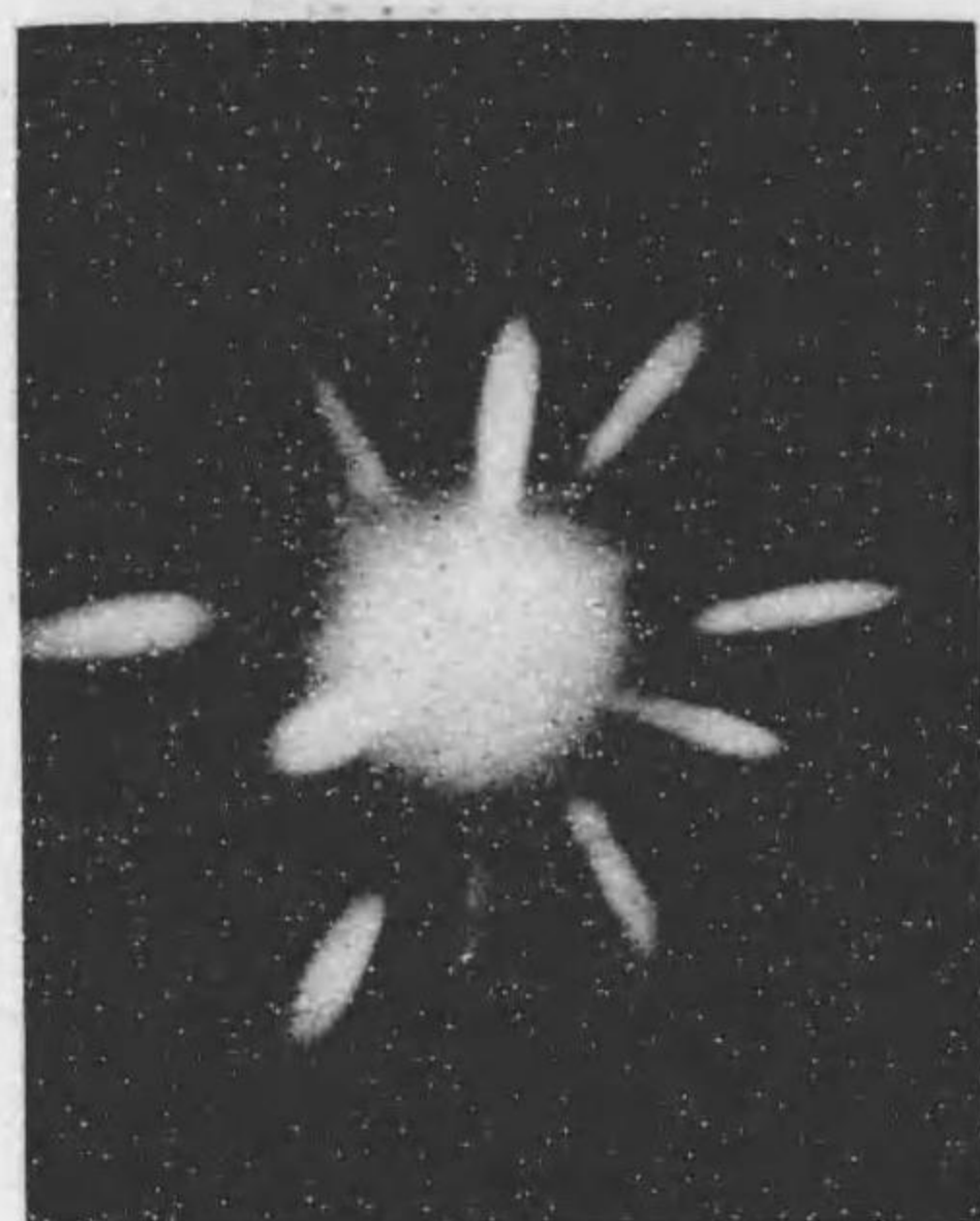
にわかる。結晶儀によつて驗べた結果によれば何れも圖の中央の直接投射點を通過し紙面の上下の方向が廻轉軸である事が明らかになつた。

次に筆者は偶然にもこの研究に用ひた試料の一つにつき壓縮によつて單一結晶が崩れる場合に微結晶は(110)面の内試料の面と最も小なる傾斜をもつ(110)面が試料の面に平行にならうとする傾向を有する事を見出した。それでこの事實が他の試料についても同様であるか否かを確かめる爲に再び此の研究に用ひた他の試料について撮つたラウエ寫眞より結晶儀を用ひて計つて見たところ何れの試料についても皆上に述べた事實があてはまる事を確かめる事が出來た。かくの如くにして今や壓縮の爲に單一結晶の崩壊によつて生ずる微結晶は試料の面と最も小なる傾斜をもつ(110)面が試料の面に平行に近づく様に廻轉するのであつてそして最初の試料の結晶方位には全く無關係である事があきらかになつた。壓縮の爲に試料の厚さが益々減少するにしたがつて(110)面が試料の面に平行する様にならうとする傾向は益々大になつて來るのである。廻轉角の最大限度が最初の厚さの50%以上の壓縮を受けると漸次減少するのは上述の理由によるものと見られる。第一圖の曲線(1)と(2)に記入してゐる角度は試料の面に垂直なる直線と試料の面に對し最も小なる傾斜をなす(110)面に垂直なる直線との間の角度を表はし曲線(1)と(4)

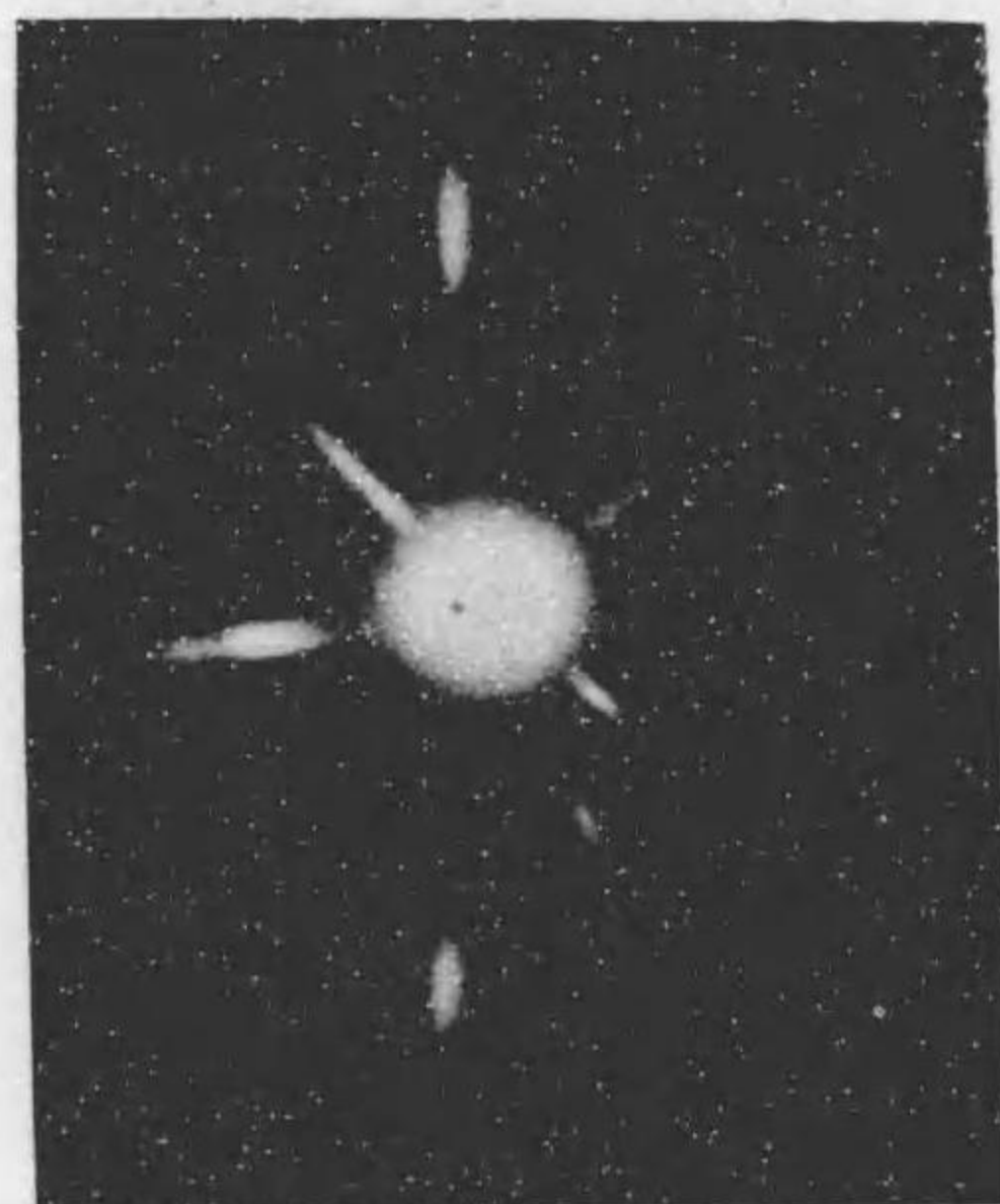
に記入してある角度は長方形の長邊に垂直なる平面に添うての角度の成分 (component) を表はす。第一圖より明らかなるが如くこれらの曲線に記入されてある角度が大なれば大なる程微結晶の廻轉角の最大限度が大になるのである。

次に微結晶の廻轉軸に關して述べて見よう。前回の報告には僅かの壓縮の場合においては〔110〕軸の内試料の面と最も小なる傾斜をもつ〔110〕軸が微結晶の廻轉軸である事を述べた。今回の研究においては

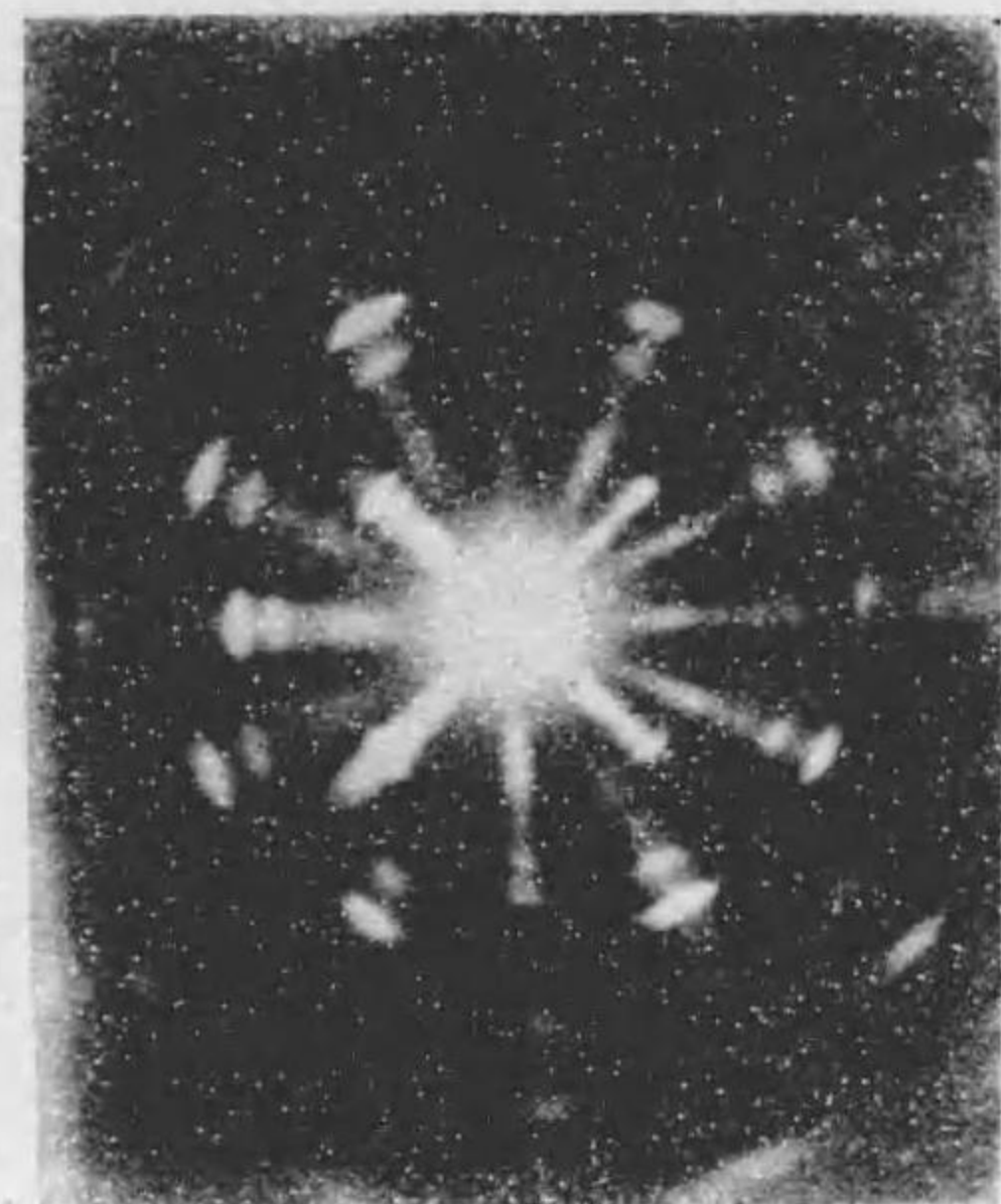
第五圖



第七圖



第六圖



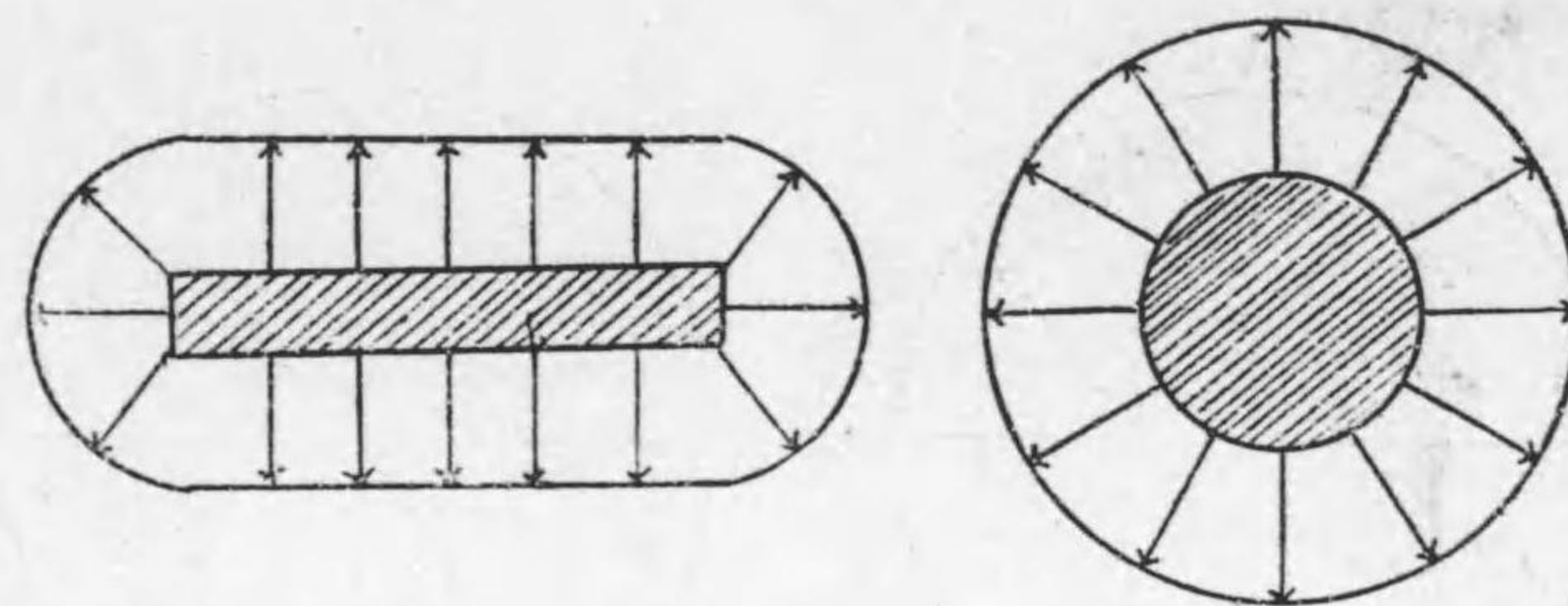
〔110〕軸の外に〔111〕軸も〔112〕軸も矢張り〔110〕軸と同様に微結晶の廻轉軸となる事が出来る事を見出した。第五圖、第六圖、第七圖は各々〔111〕軸、〔110〕軸、〔112〕軸を軸とした纖維狀排列を示す。それでは次に試料を壓縮した場合に〔111〕軸、〔110〕軸、〔112〕軸の内何の軸が實際にその試料の廻轉軸になるかといふ問題がおこつてくる。今この問題を解決する爲には

是非とも試料の壓縮を受けない前の結晶方位と壓縮の爲におこる試料の流れ方との間係を考へに入れなければならない。それで以下この事について委しく述べて見よう。この研究に用ひた試料の形は長方形及圓形のものである。第八圖において斜線を引いてある部分は試料の未だ壓縮を受けない前の形であつて大きな單一結晶を稀薄な酸で腐蝕して他の部分を除去してしまつたのである。第八圖の(a)に示す斜線を引いた部分は長

第八圖

(a)

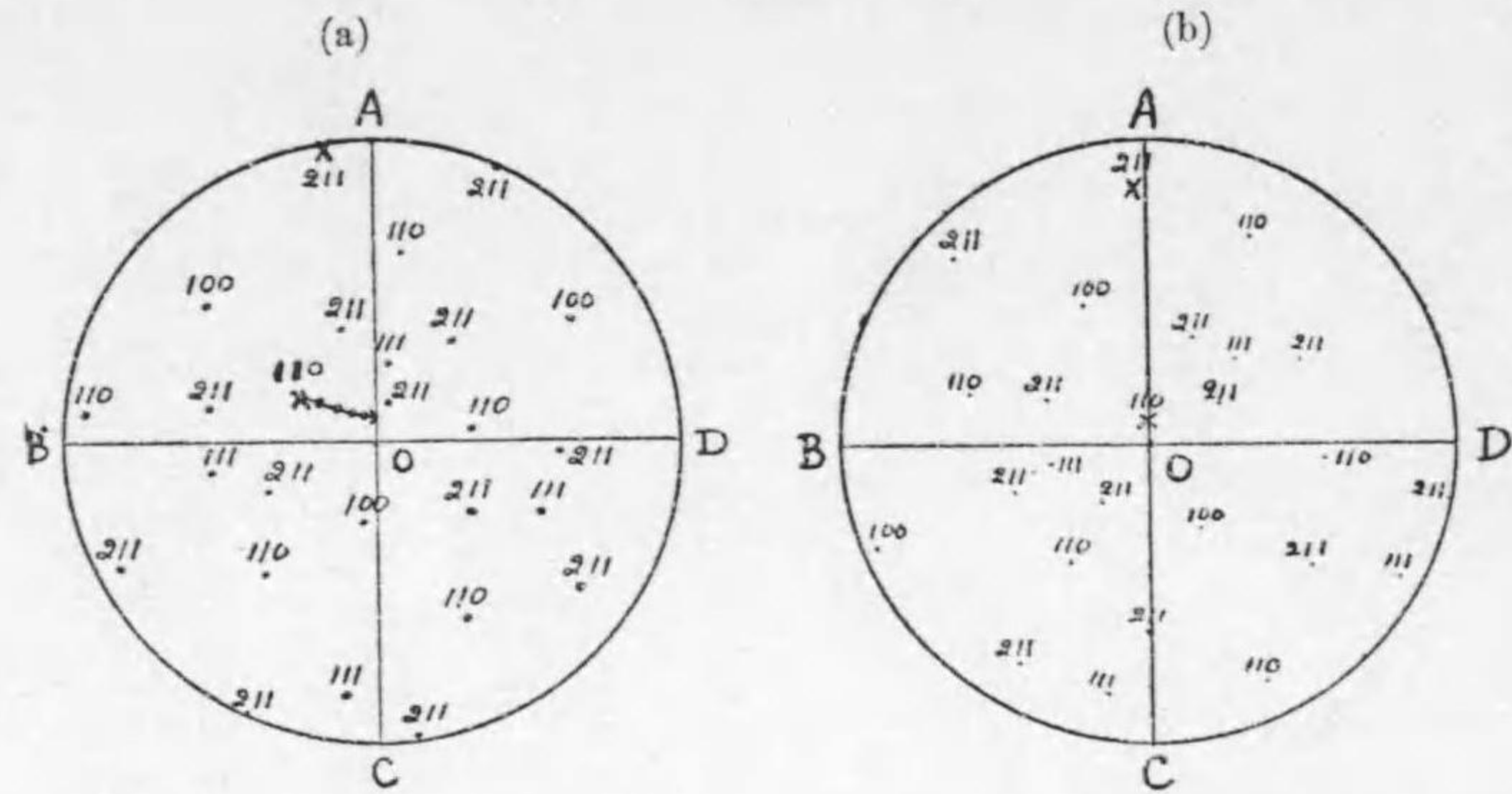
(b)



邊が短邊よりも六倍程も長い長方形を表はし、第八圖の(b)に示す斜線の部分は壓縮を受けない前の形で圓形を表はすのである。第八圖の(a)の場合においては壓縮により試料の流れる方向は矢で示される様に長邊の兩端を除いては長邊に垂直な方向である。この場合試料の長邊の附近では微結晶の廻轉軸となるべき結晶軸は〔111〕軸、〔110〕軸、〔112〕軸の内長邊と最も小なる傾斜をもつ軸が廻轉軸となるのであつてこの様な微結晶の廻轉軸は試料の壓縮を如何程進めても變化する事はないのである。前にも述べた通り試料の微結晶は壓縮により(110)面の内で試料の面と最も小なる傾斜をもつ(110)面が試料の面に平行になる様に微結晶が廻轉するのである。併し長方形の場合では壓縮による微結晶の廻轉軸は前にも述べた通り固定せられてゐるからして(110)面の内試料の面と最も小さい傾斜をもつ(110)面が試料の面に平行になる様に微結晶が廻轉しやうとする傾向は最初の結晶方位の如何によつて多少の制限を受けなければならない事になる。この様な譯で大概の場合には最初の結晶方位の如何によつて如何に壓縮を進めても試料の面と最も小なる傾斜をもつ微結晶の(110)面が試料の面に完全に平行になる事が出来ないのである。

併し長方形の長邊の方向にほとんど近い微結晶の廻轉軸となつてゐるか  
 ける結晶軸は壓縮を進めるにしたがつて多少その方向を變ぜしめる 場合  
 がある。これは試料の面と最も小さい傾斜をもつ微結晶の(110)面が出来  
 るだけ試料の面に平行にならしめ様とする 傾向があるからかゝる現象が  
 認められるのである。これらの事實をもう一層明らかに立體平畫投影法  
 (stereographic projection) によつて表はして見よう。第九圖の (a) は長方

第九圖



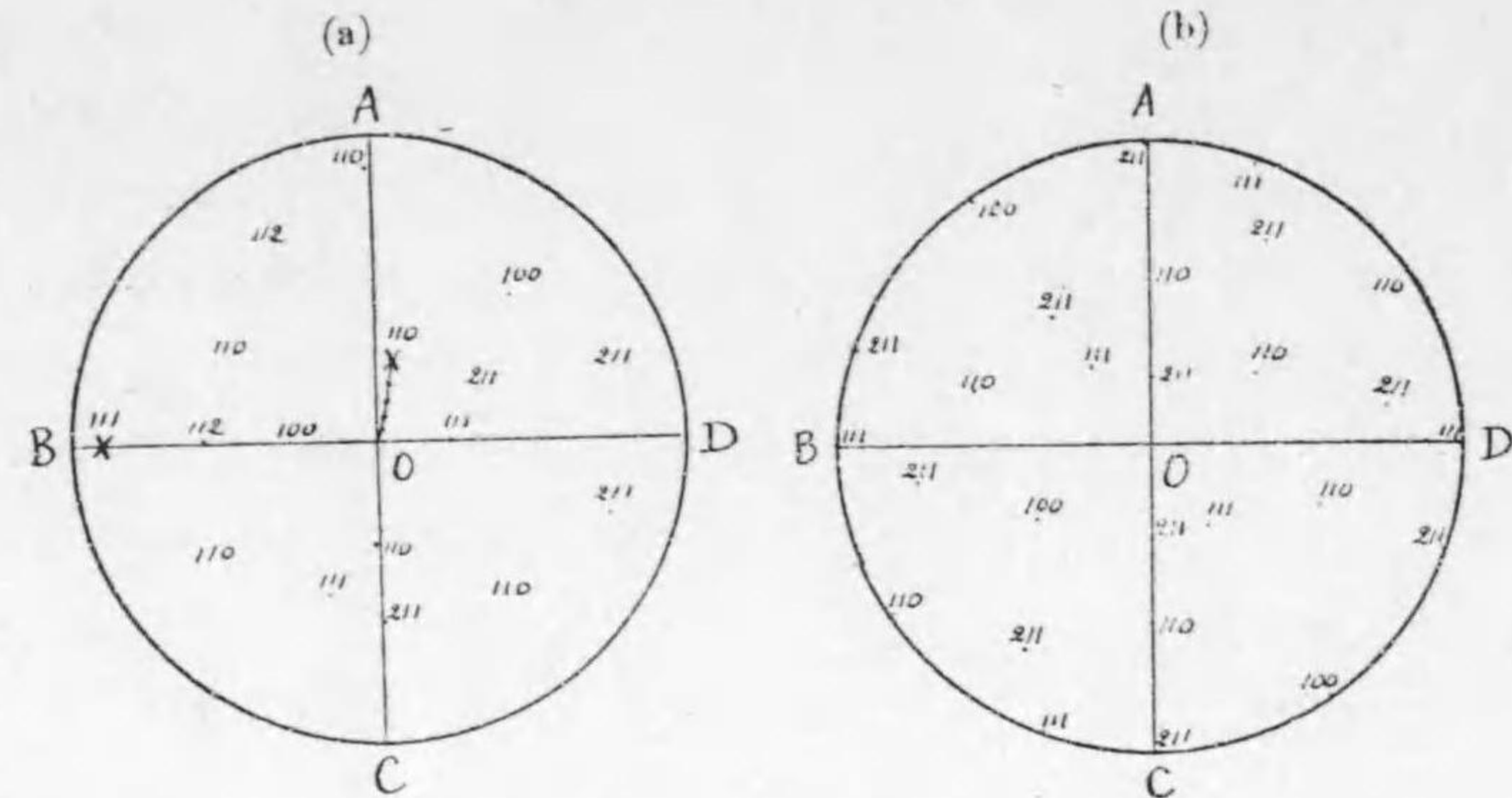
形の板の壓縮を受けない前の結晶方位を示すのであつて これは第一圖の  
 曲線 (1) に對應する試料についてである。そして此の圖は紙面を試料の  
 面と考へた時の圖である。それ故にこの圖の中心にあたる點は試料の面  
 に垂直なる直線の方角を表はす事になり AC 線は長方形の長邊の方角を  
 表はす事になる。壓縮を受けない前は (a) の圖でわかる通り X で示す  
 [110] 軸は [110] 軸の内でも最も0點に近くまたもう一つの X で表はされ  
 る[112]軸は, [111]軸, [110]軸, [112]軸 の内でも最も長方形の長邊との  
 傾斜が小さい事になる。それ故に試料が壓縮を受けた場合には微結晶は  
 如何に廻轉するかといふに X で表はす[112]軸を廻轉軸として廻轉し X  
 で示す [110]軸が漸次0點に近づく様になるのであつて其 [110] 軸が0點  
 に近づき方は曲線で示される通りである。此曲線上の點は今考へてゐる  
 [110] 軸の方角の平均値であつて左から右にいたるにしたがつて 各々最  
 初の厚さの20%, 30%, 50%, 70%だけ壓縮を受けた時の[110] 軸の方角の

平均値の位置である。第九圖の (b) は試料が最初の厚さの70%壓縮を受  
 けた場合の微結晶の方角の平均値を示すのであつて、此の場合は今考へ  
 てゐる[110] 軸はほとんど AC 線上に来て微結晶の廻轉軸である [112]  
 軸は (110) 面を出来るだけ試料の面に平行に近かすかしめる爲に少し最  
 初よりも方向を變じてゐる事を示してゐる。第八圖の (b) の場合は壓縮  
 による試料の流れの方角は圓形の中心から放射状をなしてゐる圖ではこ  
 れを矢でもつて表はしてゐる。この様な圓盤狀の試料の中心にあたる部  
 分においては壓縮により微結晶は試料にほとんど平行なあるきまつた結  
 晶軸を廻轉軸として廻轉する。この様な結晶軸は如何なるものかといふ  
 に[111]軸, [110]軸, [112]軸 の内試料の面とほとんど平行な結晶軸であ  
 つてそしてその微結晶が廻轉によつて試料の面と最も小なる傾斜をな  
 す [110] 面が試料の面に平行になる様に排列する爲にもつとも好都合の  
 状態にある様な結晶軸を廻轉軸として廻轉するのである。そしてかゝる  
 廻轉軸は圓盤狀の中心のところにおいては最初の厚さの30%の厚さにま  
 で壓縮を受けても變化しない事がわかつた。最初少しばかり壓縮を受け  
 た場合においては試料のどの部分について ラウエ寫眞を撮つて見ても試  
 料の中心のところ撮つた ラウエ寫眞とほとんど同一のものを得た。そ  
 れで僅かばかりの壓縮を受けた場合試料の流れによる影響を受ける事は  
 圓盤狀のものにあつては長方形のものよりも餘程小さいのであると言つ  
 てよい。併しこれも大體のところであつて嚴密に言へば少しは異つてゐ  
 るのである。試料が最初の厚さの30%程壓縮を受けるまでは試料の如何  
 なる部分でも微結晶は試料の面に非常に近いある同一のきまつた結晶軸  
 を廻轉軸にして廻轉する。それ故に壓縮によつて起る試料の流れの程度は  
 何處も一樣ではなくて試料の部分の異なるにしたがつて多少異なる様になり  
 圓盤狀の試料が多少橢圓形を表はす様になり 微結晶の廻轉軸となる結晶  
 軸の方角はこの橢圓形の短徑の方角と一致するのである。然し試料が最  
 初の厚さの50%以上も壓縮を受ける場合はこの様な橢圓形を形づくるこ  
 とはほとんど認められなくなる。それは壓縮によつておこる試料の流れ  
 方による影響が大になつて來た結果であつて殊に圓盤狀の縁にあたる部  
 分において著しい。そして最後には [111]軸, [110]軸, [112] 軸の内最

も試料の面に平行であり且つ圧縮によつておこる試料の流れる方向に垂直なる方向に近い結晶軸が微結晶の廻轉軸となるのである。

筆者は上に述べた事實を長方形の場合における如く立體平畫投影法によつてもつと明らかに述べて見よう。第十圖の(a)は圓盤狀の試料の未

第十圖



だ圧縮を受けない場合の結晶方位を示すのであつて、第一圖の曲線(2)に對應するのである。そしてこの紙面が試料の面と見做した場合の圖である。それ故にこの圖の中心にあたるO點は試料の面に垂直なる方向を表はすのである。前にも述べた通り圧縮により微結晶は試料の面ともつとも小さい傾斜をなす(110)面が試料の面に平行になる様に微結晶が廻轉するのである故に立體平畫投影法においては(a)圖にある通りもつとも中心に近いXで示す〔110〕軸が圧縮によつて中心に近づかなければならぬ。今Xで示された〔110〕軸が圧縮によつてこの圓の中心に接近する爲には如何なる軸が微結晶の廻轉軸になるかといふに試料の面にほとんど平行する〔111〕軸、〔110〕軸、〔112〕軸の内Xで示す〔111〕を軸として廻轉する時にはもつとも好都合である。故に此の場合は微結晶の廻轉軸はXで表はされる〔111〕軸である。それでXで示される〔111〕軸を微結晶の廻轉軸としXで示される〔110〕軸がO點に接近した場合に〔110〕軸のO點に接近する仕方は曲線で示される通りである。この曲線上の點は各々試料が圧縮を受けた場合に微結晶の廻轉するとき、今考へた

〔110〕軸の方向の平均の位置であつて各々上から下に行くにしたがつて最初の厚さの15%、45%、60%の圧縮を受けた場合の〔110〕軸の方向の平均の位置である。試料が最初の厚さの60%程も圧縮された場合には微結晶は第十圖の(b)に示される様な位置をとる事になる。前にも述べた通り圓盤狀の試料においては最初の厚さの50%も圧縮を受けた場合にはその試料の縁のところでは〔111〕軸、〔110〕軸、〔112〕軸の内この試料の面にほとんど平行であつて圧縮によつて試料の流れる方向に垂直な方向に近い結晶軸が廻轉軸である事を述べた。それで第十圖の(b)に表はされてゐる様な方位をもつ試料の場合においては(b)圖のA點に對應する圓盤狀の試料の縁においてはこの點における微結晶の廻轉軸となるべき結晶軸はこの試料の面即ちこの圖では紙面に平行であつて圧縮によつて試料の流れる方向にOAに垂直である〔111〕軸が廻轉軸であり同様にして他の點Bに對應する様な試料の點における微結晶の廻轉軸となるべき結晶軸は試料の面にほとんど平行であつて圧縮による試料の流れる方向OBに垂直である〔112〕軸が廻轉軸となるのである。

次は圓盤狀の試料においては最初の厚さの30%の厚さにまで圧縮された場合に微結晶はこの試料の平たい面に垂直な方向を廻轉軸とする廻轉が始まる。その傾向は殊に試料の縁にいたる程著しいのである。第十一圖はモリブデナムを對陰極とせるX線管球を用ひ試料の最初の厚さの

第十一圖



90%位圧縮したものにこの試料の面に垂直にX線を送つて撮つたラウエ寫眞であつてこの圖よりもわかる通りモリブデナムの $K_{\alpha}$ 示性X線がX線の直接投射する點を中心として圓形にならうとする傾向を有する。この事實より圓盤狀の試料の場合においては充分圧縮されると遂には微結晶は試料の面に垂直なる方向を廻轉軸として廻轉をなすことがわかる。既に述べた

通り単一結晶よりなるアルミニウム板を壓縮すればこの試料の面と最も小さい傾斜をもつ(110)面が試料の面に平行になる様に微結晶が廻轉する事を述べた。圓盤状の場合においては充分壓縮を受けた場合にはかゝる(110)面の多くは試料の面に平行に排列されてゐる。それで此の面に垂直な方向は〔110〕軸の方向と略一致しなければならない事になる。それで試料が充分壓縮された時に起る今述べた様な微結晶の廻轉軸となるべき結晶軸は〔110〕軸でなければならない事になる。この事は次の様にしてたしかめる事が出来た。乃ちモリブデナムを對陰極とせるX線管球を用ひ試料の面に平行にX線をあて、ラウエ寫眞を撮つた。第十二圖は

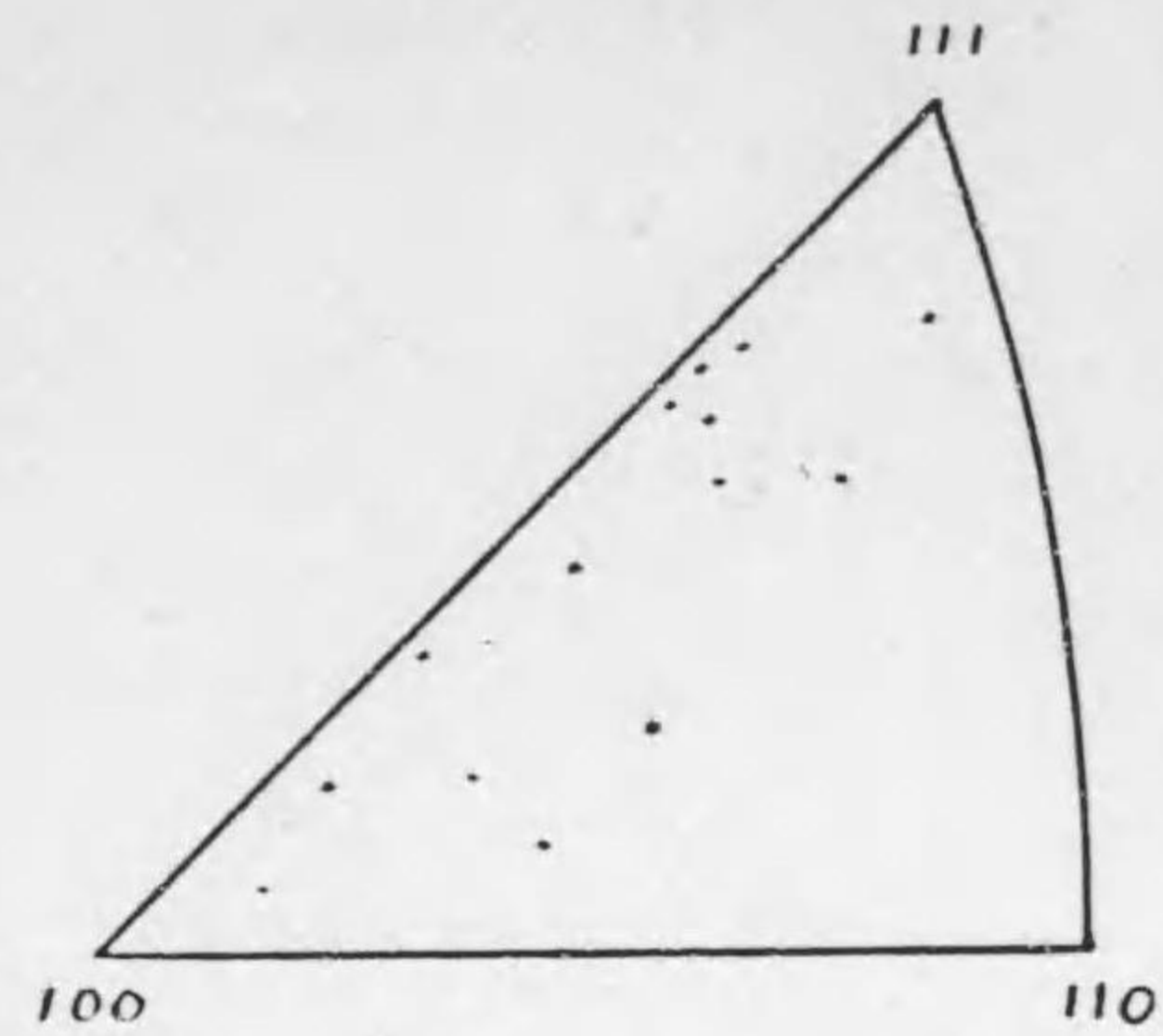
第十二圖



た結果と全く同様である。

此處で尚ほ一言しておきたい事は長方形をなす試料の場合でも圓盤状をなす試料の場合でも壓縮されると延びて大きくなるがこの大きくなつた部分を壓縮の都度稀薄な酸で充分注意を拂ひつゝ、腐蝕して除去してしまひ、なるべく最初の形を保たしめる様にしたのであつて、それは壓縮により試料の流れ方による影響をなるべく正確に知り度い爲であつた。此の研究に用ひた試料はすべて14箇であつてこれらの試料の結晶方位は第十三圖に示す通りである。これは各の試料の最初の結晶方位を立體平畫投影法によつて示したのであつて此の圖の點は結晶軸の方向に關し

第十三圖



第である。

て表はされた方位であつて試料の面に垂直な方向を示す。この稿を終るにあたり終始御懇篤なる御指導にあづかりし理學博士吉田教授にたいし厚く感謝すると同時にこの研究に際し寫眞を撮る等其の他多大の御盡力にあづかりし本所の藤井技手に對して厚く感謝する次第である。



昭和五年六月十五日印刷

昭和五年六月廿五日發行

京都市工業研究所

京都市柳馬場三條南

印刷者 松本滿次

京都市柳馬場三條南徳屋町

印刷所 株式會社似玉堂

14.21

14.21-642



1200501162923

42

終