

研究簡報

鋁單晶體滑移的電子顯微鏡觀察 (三)*

錢臨照 何壽安 楊大宇

(中國科學院應用物理研究所)

THE GLIDE OF ALUMINIUM SINGLE CRYSTALS OBSERVED BY ELECTRON MICROSCOPE (III)

TSIEN LING-CHAO, HO SHOW-AN and YANG TA-YÜ

(Institute of Applied Physics, Academia Sinica)

在前文中^[1]曾提及,在鋁單晶的滑移帶之外發現到處有平行於滑移帶的類似滑移的直線痕跡,在本文圖 1 中的純鋁單晶體的滑移電子顯微鏡照相中更為明顯。圖中除若干極為明顯的滑移帶之外,晶體上滿佈着這類平行於滑移帶的極為細微的直線痕跡。不難證明,這些細微的直線痕跡也是滑移的類型。這些細滑移線的主要特點是:

- (1) 在晶體形變的初期就出現了。
- (2) 在平常所見的滑移帶之外遍體皆是,似乎是一種均勻分佈的滑移現象。
- (3) 每個滑移線的滑移量估計約為 500 \AA 的數量級。

前文中所描述的滑移帶之外的細滑移線,它的滑移量皆比本文中所舉的例子要大。兩次實驗不同之點在於:上次所用的材料純度較低(99.6%),試樣表面是侵蝕過的;而這裏所用的材料純度要高兩個數量級,試樣表面是電解磨光過的。由於這些細滑移線的結構極為細緻,故在準備電子顯微鏡的薄膜試樣過程中,它的手續對於電子顯微鏡照相極有影響,例如氧化鋁膜的厚薄程度,金屬噴塗的角度與厚薄程度都要恰當,否則這些細滑移線不容易在照相下顯示出來的。

這裏所見的在滑移帶以外遍體都是的細滑移線與 H. Wilsdorf, D. Kuhlmann-Wilsdorf^[2]所稱的“元滑移線 (elementar-linien)”相似,而與 A. F. Brown, and R. W. K.

* 1956 年 9 月 1 日收到。

Honeycombe^[3] 所稱之“微滑移 (micro-slip)”並不相類似。

這種在滑移帶以外遍體都存在的細滑移線,由於它在形變過程中出現得早,存在的普遍,分佈的均勻,應該是滑移機構中的重要現象之一,特別在晶體形變的初階段。從我們的初步觀察結果,知道它的宏觀現象是與純度極有關係。形變的溫度和速度對它是否有影響呢?現在還沒有人做過。我們的實驗與 Wilsdorf 及 Kuhlmann-Wilsdorf 的實驗都是在室溫下用常速加工的。它的存在和滑移帶的發展有什麼聯系,當形變增加時它本身的變更如何發展,這些都應當為研究晶體形變機構者所關心的。

面心立方晶體的滑移在常溫之下是在八面體面上進行的。它的滑移方向為立方面的對角線,因此在立方晶體的 $\{100\}$ 面上觀察滑移現象,必然在三個相互垂直的立方面中的兩個面上見到滑移痕跡,而在第三個面上則否。由於鋁晶體的侵蝕面為 $\{100\}$,這種現象在由侵蝕而得的鋁晶塊上很容易得到驗證。因為侵蝕塊的取向之不同,和塊與塊之間位置之多樣化,因此所表示出來的滑移帶分佈也有許多不同。

經侵蝕後的鋁單晶體,它的滑移表現在高低兩晶塊之間的晶壁上。如圖 2 所示,滑移後的兩個晶壁形成兩個階梯一個比較大,一個在左下角比較小。圖 3 表示滑移階

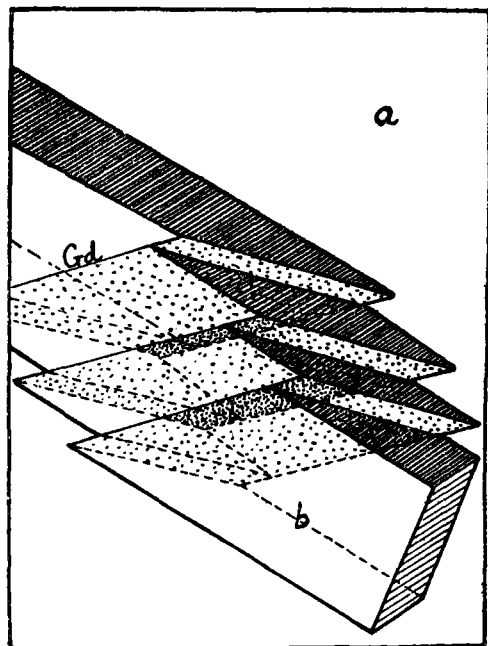


圖 3

梯的構造, a, b 為兩高低不同的 $\{100\}$ 的晶面,而以垂直於此兩面的 $\{010\}$ 晶面相聯系,經滑移後 $\{010\}$ 面成為階梯形式。滑移向方位在 $\{100\}$ 晶面上,從圖 2 中還可隱約地看出在這 $\{100\}$ 晶面上相當於圖 3 中在 b 面上滑移方向 Gd 的痕跡。當滑移面 $\{111\}$ 、晶面 $\{100\}$ 分別與 $\{001\}$ 面相交時,兩交線所成的角應當是個銳角,而現在圖 2 中所顯示出來的大多接近於直角,有些甚至於是鈍角。其中各滑移層的滑移面和 $\{100\}$ 面分別與 $\{001\}$ 面的交線構成一條在理想情況下是屈折線的界線。由於電子顯微鏡的分辨距離大於滑移層間距,使看到的這條界線成為光滑的,因此, $\{100\}$ 、 $\{001\}$ 兩晶面交線與它所成的夾角

從外觀上看來不是銳角而是直角和鈍角,如圖 4 所示。

圖 5 (a, b) 為表現在另一鋁晶體的侵蝕塊上的滑移的立體電子顯微鏡照像。右

面和左面的白色晶面都是一個下陷的侵蝕斑，中間一塊白色的晶面是一個凸起的侵蝕塊。滑移都表現在相鄰的兩個 $\{100\}$ 晶面上，滑移方向是在另一 $\{100\}$ 晶面上。一個滑移面同時表現在三個晶壁上。一系列的平行的滑移面與三個晶壁相交。與圖 2 的滑移一樣形成階梯的形式。

圖 6 為另一個鋁晶體經侵蝕後產生許多大小不同的晶塊，經形變後表現在右下角兩相鄰晶壁上的滑移顯得很清楚。實際上，這是在一個大侵蝕斑中所表現出來兩個相鄰晶壁上的滑移（圖 7），滑移的方向在底面上，但它並不像在圖 4 中的滑移方向與侵蝕斑的正方形一角相交成一個二等邊三角形，而與平分正方形一角的直線相平行。換

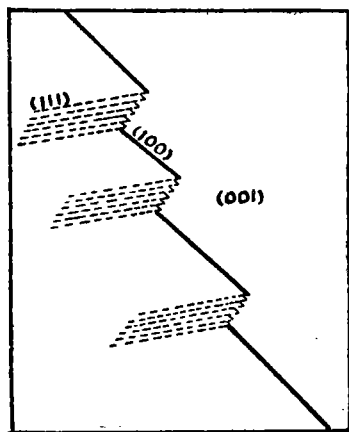


圖 4

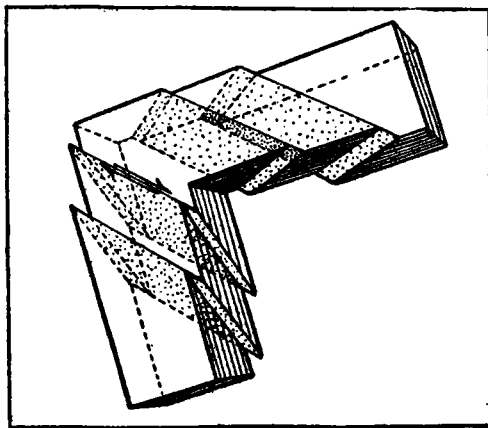


圖 7

言之，在圖 6 中表現滑移的兩相鄰晶壁，其中一壁的地位相當於圖 4 中表現出滑移的兩相鄰晶壁之一，圖 6 中大晶塊底面上的滑移痕跡看不出來，但在箭頭所指的地方很清楚地表現出這一個長方形的晶塊，由於滑移的緣故而使兩壁成一曲折形狀，從而在底面上表示出明顯的滑移方向。

圖 8 為鋁晶體經侵蝕後顯示出有若干侵蝕斑排列起來形成幾層高低不等的晶面經拉伸後除像圖 1 中所有之遍體的細滑移線外，還有一個滑移帶橫貫這幾重侵蝕斑，而這些斑的底面幾乎與照相紙平行。滑移面為八面體中之一面，如此可由滑移線在每底面上出現的位置很容易計算出 a, b, c, d, e 各晶面間的高差

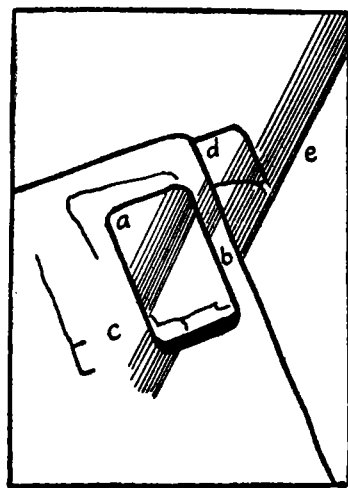


圖 9

（圖 9）。計 a, b 兩晶塊間之高差為 8000 \AA ； b, c 兩晶塊間之高差為 5000 \AA ； c, d 兩

晶塊間之高差爲 5000 \AA ; d, e 兩晶塊間之高差爲 4000 \AA .

圖 10 亦爲侵蝕後的鋁晶體顯示出兩個相鄰的晶塊, 而高差約爲 15000 \AA . 橫貫此圖的一條黑色帶即爲兩高低相差晶塊間的大晶壁. 在上面晶塊上的滑移帶直通到晶塊下邊緣, 而在下面晶塊上的滑移帶僅通到這晶塊上邊緣附近, 並與一黑色短帶相接. 這黑色短帶爲一略與橫貫的大晶壁相垂直的侵蝕面. 由於此小侵蝕面並未通達至另一侵蝕面, 即在它的末端可能晶體有畸變的狀態, 因而當加外力時該處容易集中脅強而發生滑移, 在下面的晶塊中靠近大晶壁處晶塊的頂面實際上不是平的, 由於兩垂直的小晶壁, 在此附近必須略有高低之分. 除兩顯著的滑移帶之外, 圖 10 的其它部分也滿佈着像圖 1 中的許多細滑移線.

鋁晶體在不同溫度下的滑移有顯著的區別, 這是早爲人所知的. 在由侵蝕而得的晶塊上, 在它的兩個 $\{100\}$ 面上滑移有極大的不同. 但在包含滑移方向的第三個 $\{001\}$ 上則不因溫度之不同而有異差. 圖 11 爲在室溫下加工的侵蝕晶塊, 而圖 12 爲在液體空氣溫度下加工的侵蝕晶塊. 圖 11 中的許多晶塊面表示三個互相垂直的 $\{001\}$ 的晶面. 白色的面即爲包含滑移方向的立方晶面, 在它上面毫無滑移痕跡可見, 正與在液體空氣溫度下加工的圖 12 中白色方形晶面相同. 在這兩圖中包含滑移方向的 $\{100\}$ 面上, 都顯示出相類的細緻的表面構造, 這種構造是否與形變有關目前還不可知. 至於兩圖中其它兩立方面上的滑移的差別則正和一般所見相類似.

參 考 文 獻

- [1] 錢臨照, 何壽安, 物理學報, **11** (1955), 287—289.
- [2] Wilsdorf, H. und Kuhlmann-Wilsdorf D., *Zeits. f. angewandte Phys.* **4** (1952), 361—370.
- [3] Brown, A. F. and Honeycombe, R. W. K., *Phil. Mag.* **42** (1951), 1146—1149.

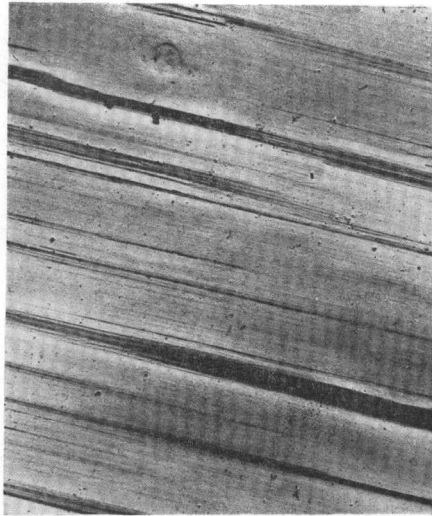


圖 1

× 2000

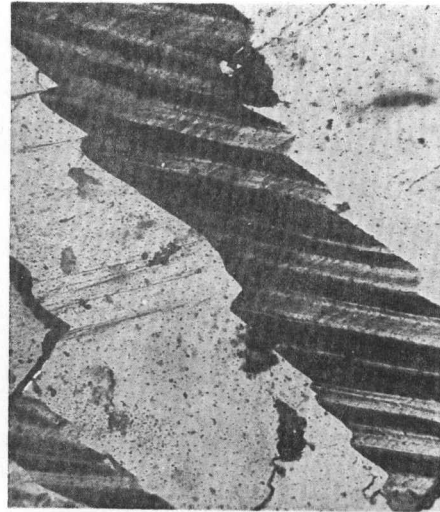
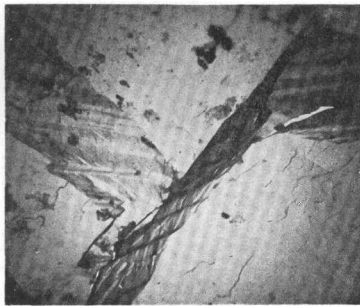
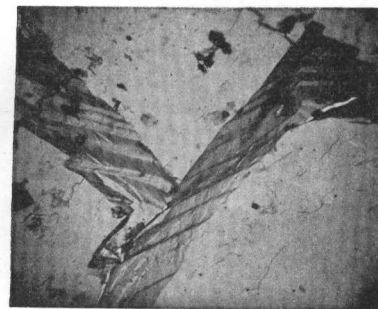


圖 2

× 6000



a × 3000



b × 3600

圖 5

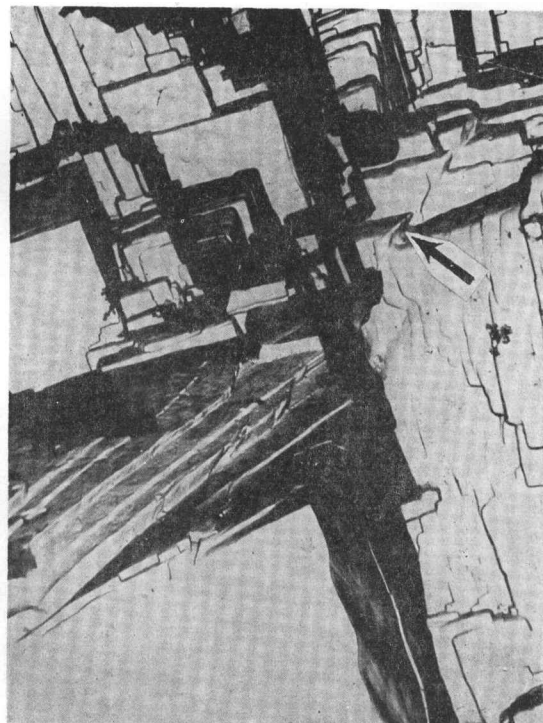


圖 6

× 4000

錢臨照、何壽安、楊大宇：鋁單晶體滑移的電子顯微鏡觀察（三）

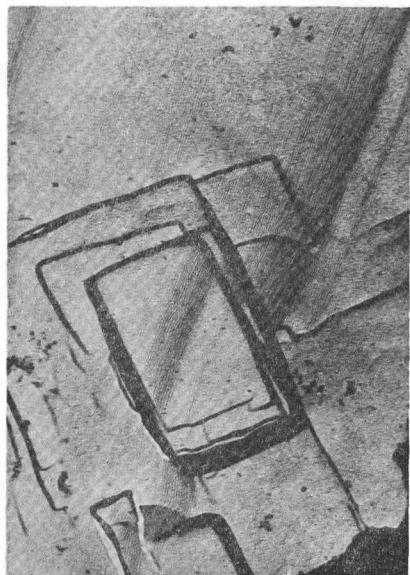


圖 8

$\times 6000$



圖 10

$\times 6000$

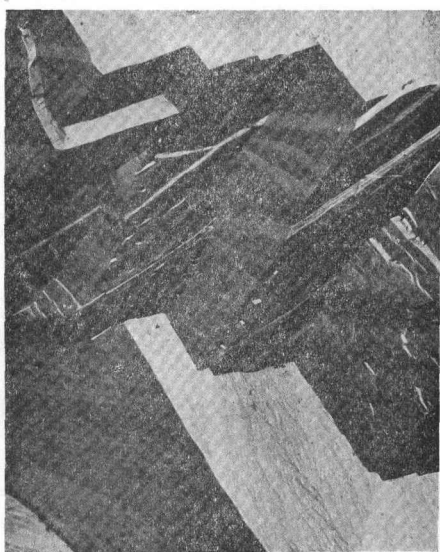


圖 11

$\times 2000$

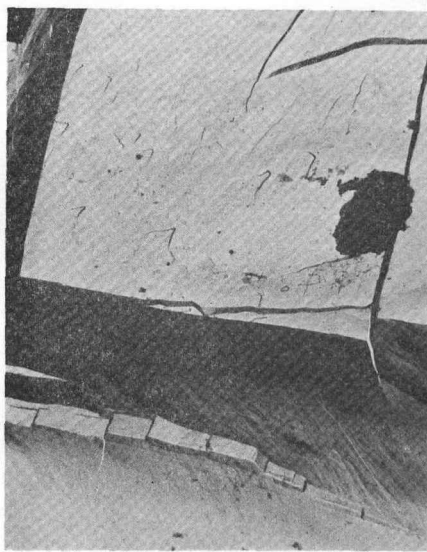


圖 12

$\times 2000$