

在鋁晶體表面上刻紋所導致的滑移的特徵*

錢臨照 何壽安

(中國科學院應用物理研究所)

CHARACTERISTICS OF GLIDE CAUSED BY THE SCRATCHES ON ALUMINIUM SINGLE CRYSTALS

TSIEN LING-CHAO, HO SHOW-AN

(Institute of applied Physics Academia Sinica)

A. B. 斯節潘諾夫^[1]曾在非金屬晶體(離子晶體的氯化鈉)上劃了一條細長的刻紋，然後再把它拉伸。他利用偏振光來觀察，並研究了在刻紋區域附近的晶體滑移(斯節潘諾夫稱它為人工滑移)的行為。

我們在鋁單晶體上進行了相類似的實驗。

在一個從熔質中用凝固方法做成後沒有經過任何加工的鋁單晶體(純度為 99.99%)的表面上，用極細的針尖輕輕地劃一道刻紋。然後把晶體放在拉伸機上逐漸拉伸約 1%，則見刻紋的兩旁出現許多與刻紋相交的線條如圖 1、圖 2 所示。仔細觀察這些線條，不難證明它們確是晶體滑移所致的。

經過初步的觀察和研究，發現這種滑移有下列三個可以注意之點：

1) 把劃有刻紋的鋁單晶體放在 150 倍的顯微鏡下，觀察它的拉伸過程，發現在拉伸剛開始的時候，刻紋兩旁首先出現很多清楚的滑移線，而在晶體的其他部分尚難觀察得到滑移線的出現，或者只有幾條極為模糊的線條可以看見。當繼續拉伸時，這種自然滑移線也就增多，而且逐漸地明顯起來。但是，自然滑移跟刻紋兩旁的人工滑移在光學顯微鏡下有基本的區別，即後者始終比前者清楚而明顯。如果在暗場下觀察，則看到的幾乎只是人工滑移，而自然滑移幾乎看不出來，除非在形變程度很大時，則也可以看到若干。圖 3 是刻紋 ss、自然滑移 aa 與人工滑移 bb 同在一個區域內的電子顯

* 1956 年 9 月 1 日收到。

微鏡照相。從人工滑移被自然滑移所曲折成的弧線 M 看來，知道這條自然滑移帶中存在着精細結構；可是在人工滑移與刻紋相交處，則成比較銳形的折線 N ，我們可以推斷，這條人工滑移帶雖然約有 10000\AA 的滑移量，但其中可能無精細結構存在。自然滑移帶具有精細結構是一個較為普遍的現象，特別是在對晶體熔點而言的較高溫度下所進行的滑移；但人工滑移的缺乏精細結構是否具有一般性，尚待更多的實驗事實來肯定或否定。

這兩種滑移，無論在精細結構存在與否的問題上有何區別，在宏觀上確有顯著的不同。

2) 在刻紋兩旁所發生的人工滑移是由於刻紋在晶體中種下了一些可以發生滑移的核，當這些滑移核受到外力作用時，便發展成滑移帶。它有下面幾個證據：(一) 觀察圖 1 與 2，我們可以清楚地看出，在刻紋兩旁的所有滑移帶是貫穿刻紋的，並且無例外地在貼近刻紋兩側處的滑移量最大，而向兩旁發展的滑移量則逐漸減小。圖 4 是用干涉顯微鏡照的相，它清楚地表明，在一條人工滑移帶上的滑移量是逐漸變化的。這現象意味着，在刻紋的下面埋藏着可以滑移的核，當試樣受到外力時，滑移就從刻紋下面的這個核開始向兩側發展。(二) 在晶體上劃了刻紋以後，用電解磨光法將刻紋磨去，使由刻紋所導致的試樣表面微裂縫完全消滅，但在低倍顯微鏡中仍可觀察到刻紋的模糊跡象。然後將此試樣拉伸，則在已經幾乎完全消滅的刻紋兩旁，同樣還可得到具有特徵的滑移，如圖 5 所示。在晶體上劃了刻紋以後，若用電解磨光深深磨去一層，使模糊的刻紋痕跡都不存在，此時再拉伸試樣，則不再看到這些具有特徵的滑移。這時，晶體的滑移就和普通的晶體滑移沒有兩樣。這一觀察說明，這種滑移核確實埋藏在刻紋下面的深處。A. F. Brown 與 R. W. K. Honeycombe^[2] 曾在鋁單晶體上發現：如果晶體先經過砂紙磨擦，再用電解法磨光，然後拉伸，則滑移帶粗而明晰；如果晶體不經過砂紙磨擦而完全用電解法來磨光，則拉伸後的滑移線是較細較模糊的。從我們的實驗結果看來，這種現象顯然是由於一個有刻紋一個沒有刻紋的緣故。以為由於氧化膜的作用是不合乎事實的，(三) 在晶體上劃了刻紋以後，把試樣放在真空電爐中，在 550°C 下熟煉 1 小時，取出再作拉伸試驗，則刻紋雖然照舊存在，但在它的兩旁並不產生具有特徵的滑移，如圖 6 所示。這一實驗結果意味着：這些具有特徵的滑移核是脅強多少集中的地區。因為，如所週知，晶體在畸變點陣附近的內脅強是可以用高溫熟煉的方法來解除的。從上面看來，我們可以理解，這些與刻紋相聯繫的滑移核跟由於刻紋所導致的、發生在刻紋近旁而與刻紋成垂直的微裂縫不大相關，而跟刻紋下面的晶體因刻紋而導致的畸變發生密切聯繫。我們也可以說，這滑移核的本質是具有深刻的物

理意義的。

3) 如果刻紋的方向與滑移線成正交，人工滑移最容易發生。兩線所成的傾斜度增大時，人工滑移較難發生（見圖 7）。

這種由於刻紋而產生的具有特徵的人工滑移，不論在離子晶體中或金屬晶體中，都是發源於刻紋在晶體中所種下的滑移核。這一事實在 A. B. 斯節潘諾夫的實驗和我們的實驗中獲得了共同的證明。至於兩種晶體的其他關於滑移形態的細節，則由於觀察所應用的方法之不同以及晶體結構與晶體內結合鍵的基本不同而不能做比較。

A. B. 斯節潘諾夫在他的實驗基礎上提出了滑移過程具有兩個不同階段的看法；第一階段是滑移核的生成，第二階段是滑移核的長大。我們以為，對於人工滑移說來，這是一個頗為自然的設想。但是我們不禁要問：一般不由刻紋所引起的天然滑移過程是否也具有這兩階段。至少在鋁晶體上這兩種滑移在試樣表面上所表現出來的是有所不同的。我們將怎樣在沒有刻紋的試樣上來規定滑移的階段呢？為了要解決這一問題，便必須仔細觀察晶體一般天然滑移的逐個步驟，從一開始到晶體斷裂。這種在試樣表面上的觀察還必須結合試樣的拉伸曲線來研究，特別應當着重在臨界切脅強點的附近。晶體的滑移過程不可能像一般所想像的那麼簡單。而瞭解晶體滑移過程應當列為目前晶體範性學的急迫任務。從有刻紋的人工滑移觀察促使我們來考慮一般的天然滑移過程，這應當作為由本文實驗所引起的最主要問題之一。

其次，為了要將滑移的階段性推想到原子在晶體中如何安排如何移動的基本問題上，我們必須對滑移核的本質有更多的瞭解，其中包括利用新工具如微光束 X 射線來觀測滑移核的構造、大小、埋藏深度等等與刻紋的關係；觀察滑移核在不同溫度及不同拉伸速度下如何發展與長大；定量測定滑移線的結構、滑移線的長大速度與外加脅強的關係。只有掌握了這些有關滑移的具體知識，才能够想像在形變過程中原子在晶體中如何活動，從而試圖作出晶體滑移的微觀機構。上述的工作應當首先集中在滑移的最初階段，一般說來，即在拉伸度 1% 以下。

由這個實驗所引起的另一類問題，便是在刻紋滑移的應用方面。在晶體上，由刻紋所產生的滑移可以用作控制滑移的產生條件的好方法。因此，我們可以利用它來研究若干有趣的問題，例如：表面薄膜對滑移運動的作用；晶體表面的微裂縫對晶體強度的影響；整個晶體的形變量是否都可以歸之於各滑移帶的滑移量的總和；以及在晶粒間界附近的滑移行為等等。

參 考 文 獻

- [1] Степанов, А. В., *Известия АН СССР. Серия Физ.* **17** (1953), 342—351.
- [2] Brown, A. F., and Honeycombe, R.W.K., *Phil. Mag.* **42** (1951), 1146—1149.

錢臨照、何壽安：在鋁晶體表面上刻紋所導致的滑移的特徵

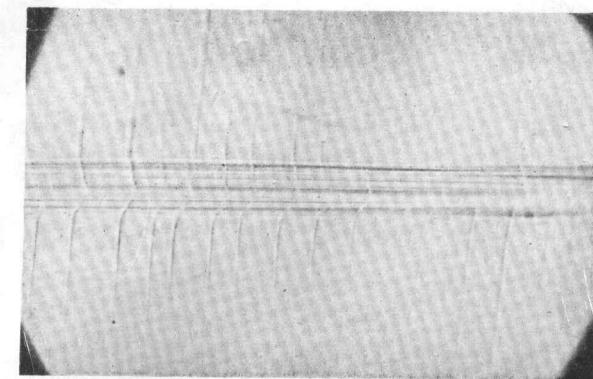


圖 1

500

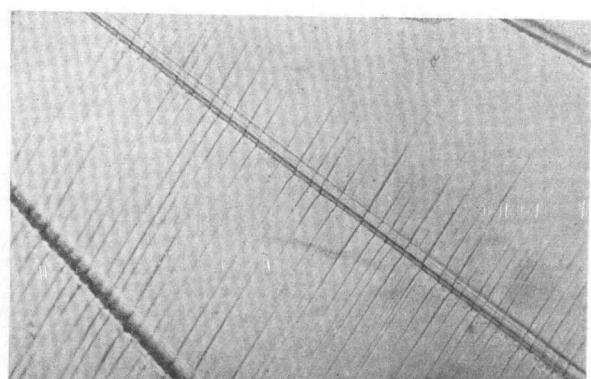


圖 2

125

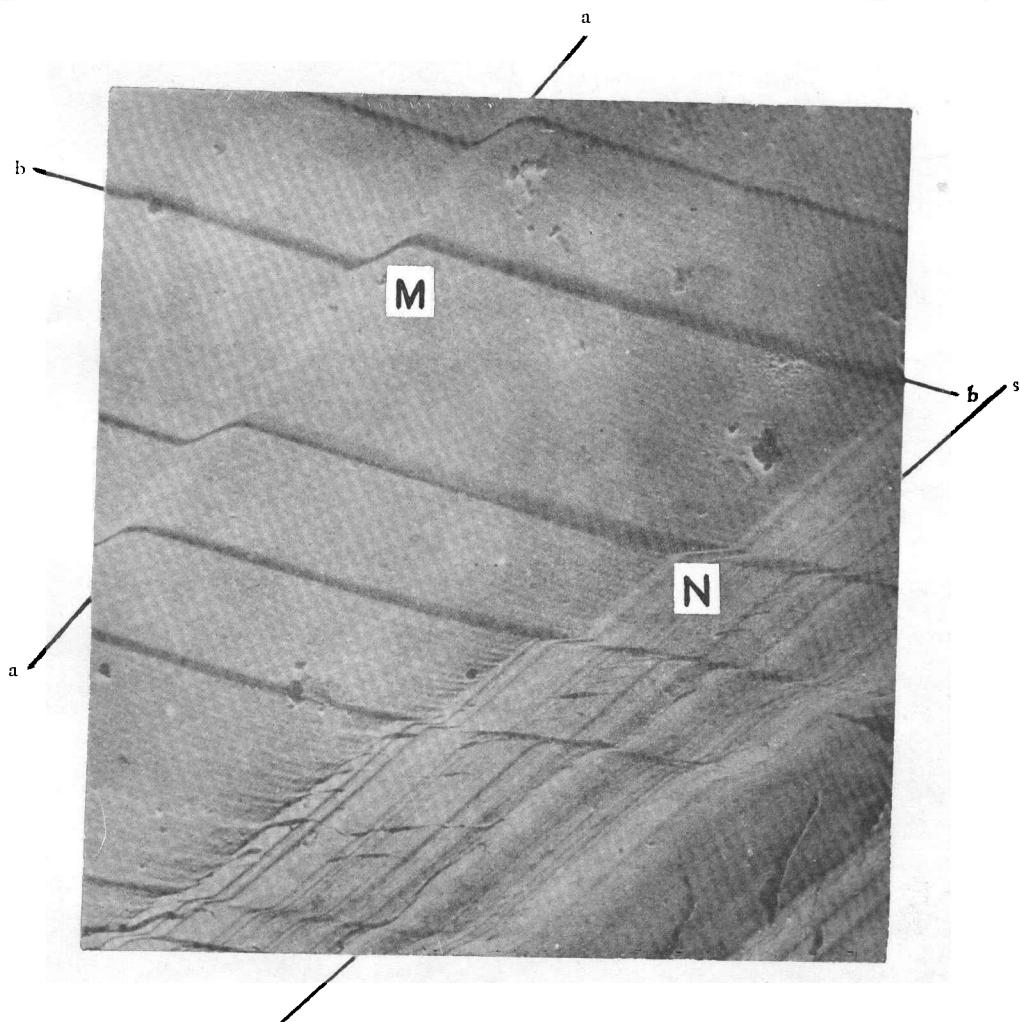
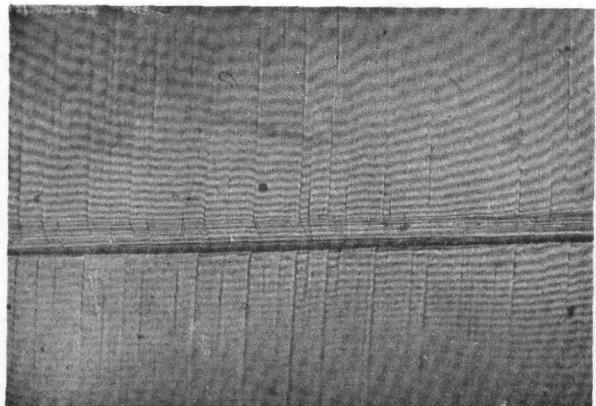


圖 3

6000

錢臨照、何壽安：在鋁晶體表面上刻紋所導致的滑移的特徵

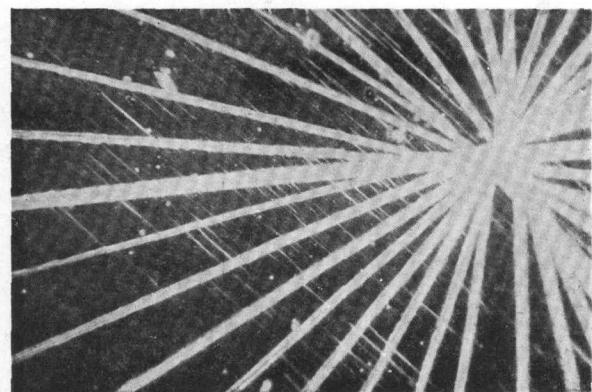


275

圖 4

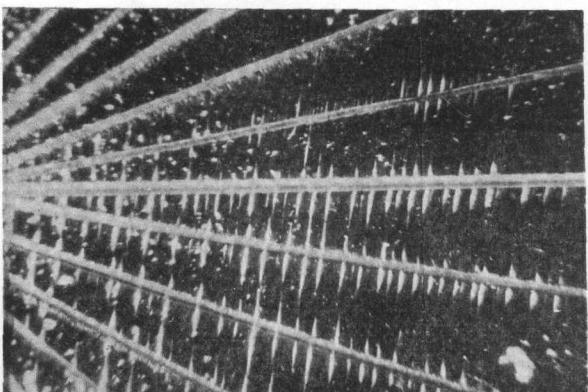


圖 5



125

圖 6



125

圖 7