



Title	亜鉛単結晶の劈開面に認められる河状模様について
Author(s)	幸田, 成康; Koda, Shigeyasu; 泉, 総一 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 17, 131-137
Issue Date	1957-12-20
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40618">https://hdl.handle.net/2115/40618</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	17_131-138.pdf



# 亜鉛単結晶の劈開面に認められる河状模様について

幸 田 成 廉

泉 総 一

(昭和 32 年 9 月 30 日 受理)

## On the River Pattern Observed on the Cleavage Surface of Zinc Single Crystals

Shigeyasu KODA

Sôichi IZUMI

### Abstract

To clear the feature and the mechanism of formation of the river pattern on the cleavage surface, zinc single crystals were cleaved at  $-196^{\circ}\text{C}$  and room temperature respectively, and their cleavage surfaces were observed microscopically.

The results obtained are as follows. (1) The river pattern is a step with the height from a few  $\text{\AA}$  to  $10\ \mu$  and larger. (2) The feature is affected by the kind of applied stress, the velocity of crack propagation and the other factors. (3) The direction of the growth of a river pattern is related to the direction of crack propagation. (4) Two mechanisms shown in Fig. 4 are important for the formation of the river pattern.

### I. 緒 言

亜鉛単結晶を劈開破断させた時、その劈開面には双晶、キンク、随伴キンクおよび河状模様 (River Pattern, Vein, Treelike-Marking とも呼ばれている) 等の各種の模様が認められる。このうち河状模様については、他の模様に比して研究が少なく、その実体や成因については、劈開面に生じた割れ目<sup>1)</sup>、不連続割れを結んで主クラックを形成する“小さな崖”<sup>2),3)</sup>、あるいはラセン転位を劈開割れが切つた時出来る階段<sup>4)</sup>等の説があり未だ明らかでない (図-1)。よつて、著者等はこの点を決定するため、亜鉛単結晶の劈開面に認められる河状模様について、形状、実体、生成機構を研究した。

### II. 試料および実験方法

#### (1) 材 料

三井金属製電解亜鉛 (Zn 99.99%) より凝固法により単結晶を製作した。

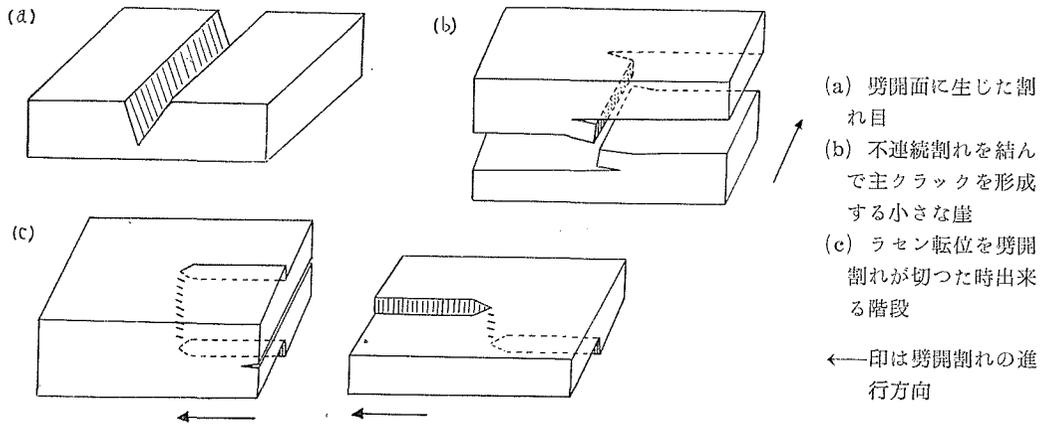


図-1 河状模様の中の三つの説の模式図

## (2) 実験 1.

亜鉛単結晶の丸棒 (直径 3~5 mm) を, (a) 液体窒素中で数分間冷却後取出し, ナイフの刃で劈開割れを起させたもの, (b) 振り応力を加えて劈開割れをおこさせたものおよび (c) 液体窒素中で引張り応力を加えて劈開割れをおこさせたものの 3 者につき, 劈開面に認められる河状模様を光学顕微鏡, 電子顕微鏡および顕微干涉計を用いて観察し, その形状, 実体, および成長方向等を調べた。なお同様な観察を常温で破断した単結晶について行つた。

## (3) 実験 2.

前述のものと同様な方法で作つた三角柱型の単結晶 (底面が亜鉛の結晶の (0001) 面と大体平行になっている) に, 劈開面を開くような応力を加え, これによつて生じた劈開割れの源になつている個所の状態を光学顕微鏡で観察し, 河状模様の生成機構を考える基礎にした。

## III. 実験結果および考察

### (1) 劈開面上における河状模様の形状および実体

亜鉛単結晶の劈開面には, 一見総条の如き河状模様が多く認められ, かつ, 互に相対応する劈開面上におけるこれ等の形状は完全に鏡像の関係になつている (写真-1)。図-2 は線條如く見える河状模様を顕微干涉計で観察した結果得られた干涉縞のズレ (写真-2) を解析したものである。これ等の観察結果から知られる如く, 河状模様は劈開面上の割れ目ではなくて, 劈開面上の階段である事が明らかである。

### (2) 河状模様の成長方向と階段の高さ

(a) ナイフの刃を用いて劈開割れをおこさせた試料における劈開面上の河状模様は, ナイフの刃による傷の部分から放射状に伸びており, 次第にその階段の高さを減少して, ついに消えてしまう (写真-3)。この場合, 階段の高さが  $1.5 \sim 0.3 \mu$  程度の比較的大きなものがしばしば認められた。

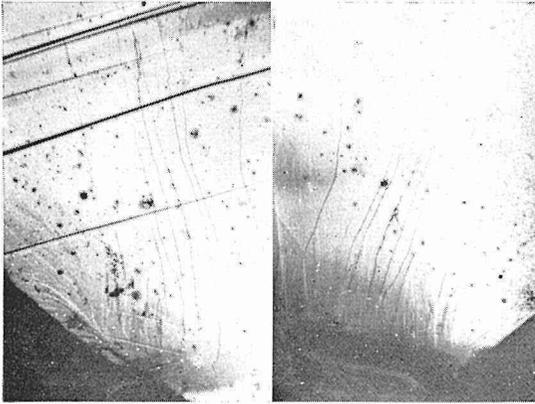


写真-1 -196°Cで振り応力を加えて破壊した試料の相対応面上における河状模様

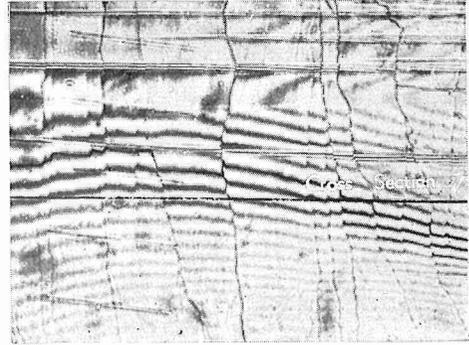


写真-2 -196°Cで引張り応力を加えて破壊した試料の劈開面上の河状模様による干渉縞のズレ ×90

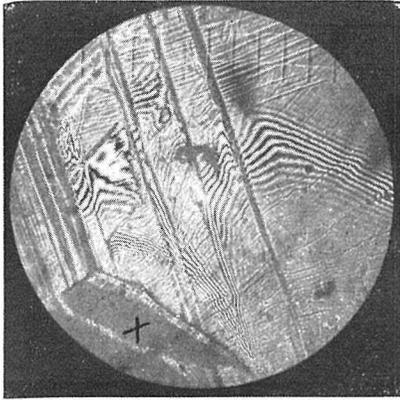


写真-3 -196°Cでナイフの刃で劈開割れを起させた試料の河状模様。×印は割れの源となつたナイフの刃による ×33

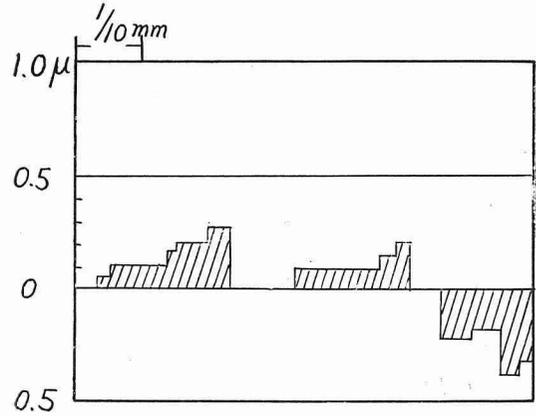


図-2 写真-2の干渉縞を解析したもの

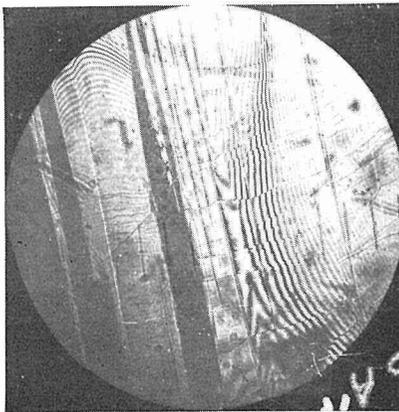


写真-4 -196°Cで引張り応力を加えて破壊した試料の劈開面上の河状模様 ×33

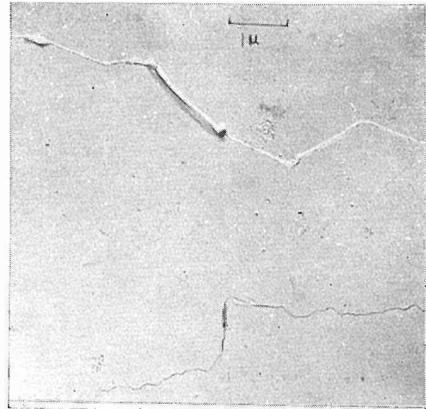
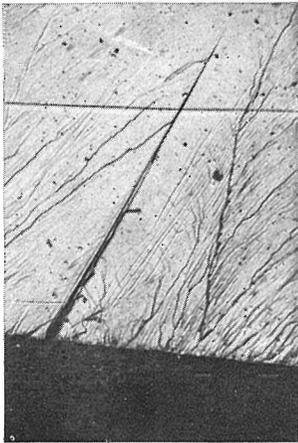
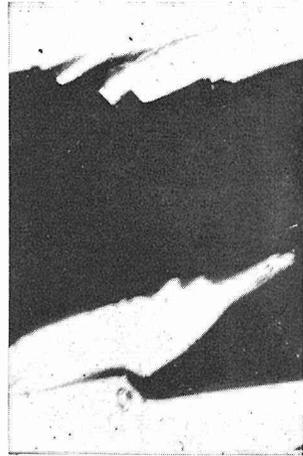


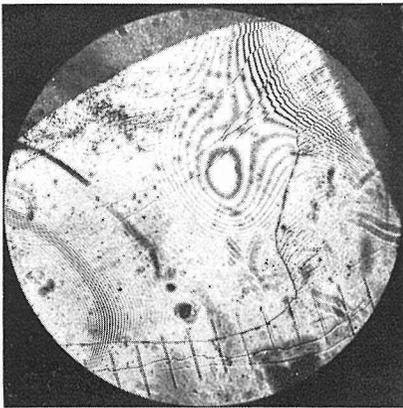
写真-5 -196°Cでナイフの刃で劈開割れを起させた試料の劈開面上の河状模様の電子顕鏡写真 ×750



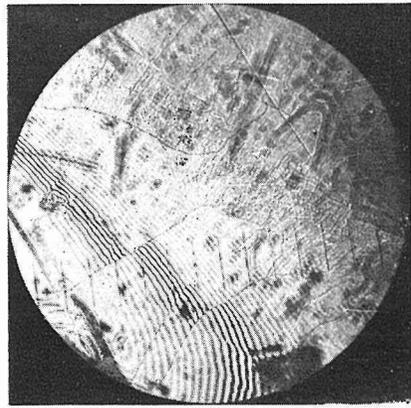
写真—6 図-3の(A)部の  
結果 × 330



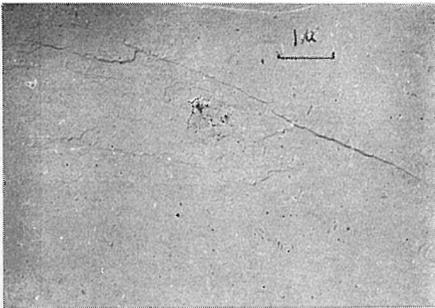
写真—7 図-3の(B)部の  
結果 × 330



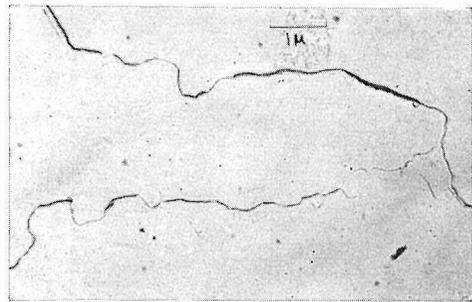
写真—8 河状模様  
の密度の増加  
( $-195^{\circ}\text{C}$ で引張り  
応力を加えて破  
壊させた試料)。 × 33



写真—9 河状模様  
の密度の増加  
(常温でナイフの  
刃で劈開割れを  
起させた試料)。 × 33



写真—10 枝分れによる  
河状模様の高さ  
の減少 (常温で  
ナイフの刃で劈  
開割れを起させ  
た試料)。 × 750



写真—11 二つの河  
状模様の合体に  
よる河状模様  
の高さの変化 × 750

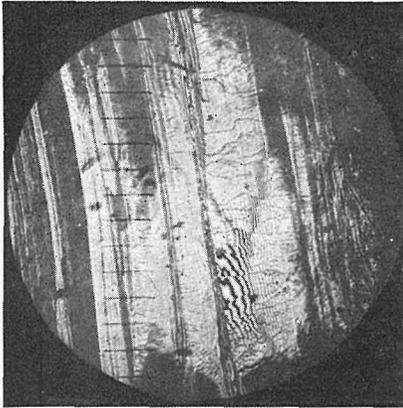


写真-12 常温で引張り応力を加えた時、双晶の基底面で破壊した試料の破断面に認められた河状模様  $\times 35$

(b) 引張り応力を加えて劈開割れをおこさせた試料の劈開面上の河状模様の成長方向は、割れの進行方向と良く一致し、その階段の高さは  $0.3\mu$  程度のものより以下のものが多く認められた(写真-4)。

(c) 振り応力を加えて破断させた試料の劈開面上の河状模様は、劈開面の形が楕円形をなしている試料(試料軸と劈開面とのなす角が  $90^\circ$  または  $180^\circ$  でないもの)では、その側面、すなわち振り応力の劈開面に垂直な分力が最も大きな部分から試料の内側に向つて放射状に伸びている(写真-1(a))。

(d) 常温で劈開割れを起させたものについての実験の結果は、液体窒素の温度で劈開割れを起させたもの

の実験結果と河状模様の成長方向については大きな差は認められなかつた。

以上の観察結果から、河状模様の成長方向は応力の種類によつて特徴のある傾向を示すが、いずれにしても、劈開割れの成長する方向に沿っているものと思われる。

### (3) 河状模様の電子顕微鏡的観察

電子顕微鏡観察の結果によると、河状模様の階段は特定の結晶面で生じているようには認められないが、観察した形状から結晶のモザイク境界に沿つて蛇行してゆく傾向があるように思われた(写真-5)。

### (4) 河状模様の生成機構

前述の結果から亜鉛単結晶の劈開面上の河状模様は割れの源から劈開割れの進行方向に沿つて伸びている階段であることがわかつたが、この様な階段は如何なる機構のもとに形成されるものであろうか。この点を明らかにするため、劈開面に垂直な応力を加えて得た劈開割れのはじまりの個所を光学顕微鏡で詳細に観察し、次の結果を得た。

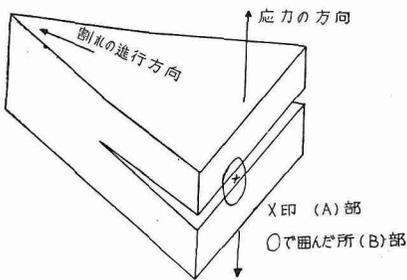


図-3 河状模様の生成機構を考える基礎を得るための実験に用いた試料の形状と観察位置

試料の形と観察位置は図-3に示す通りで、(A)部の観察結果を写真-6に示し、(B)部の観察結果を写真-7に示した。

これ等の結果から、河状模様を形成する機構には2種類の主要なものがあると考えられる。すなわち、図-4(a)のごとく、劈開割れの源ですでに形成されていた劈開面上の階段が、割れの進行と共に劈開面上に階段を形成してゆく機構と、(b)のごとく、互に平行な劈開面に生じた劈開割れが割れの進行中に結ばれて2次的に階段を形成する機構とである。

### (5) 河状模様密度の増加

割れの源から伸びて来た河状模様が大きく曲折した所で非常に沢山の細かい河状模様を派生的に生ずるのがしばしば認められる(写真-8)。これは次のように説明される。すなわち、割れの源から拡つてゆく劈開割れの速度が割れの成長に伴う表面エネルギーの増加や双晶の形成によるエネルギーの吸収によって次第に減少した場合、モザイク境界のような障がいがあると、その進行が停止すると考えられる。しかしながら、さらに外部から応力が加えられると割れは再び進行しようとするが、その際割れは元のままの大きい階段を保つたままの状態では成長を続ける事が困難で、モザイク境界に沿った

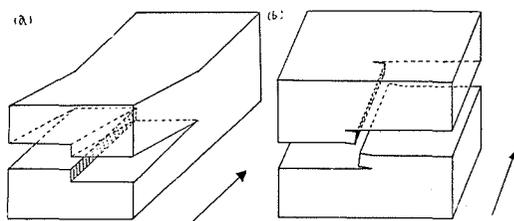


図-4 河状模様の生成機構の模式図

- (a) 劈開割れの源ですでに形成された劈開面上の階段が割れの進行と共に劈開面上に階段を形成していく機構  
 (b) 互に平行な劈開面上に生じた劈開割れが割れの進行中に結ばれて二次的に階段を形成する機構 ←印は割れの進行方向

割れを生ずると同時にモザイク境界の近傍で、あらたに発生した小さな割れをつらねて進行してゆく結果、ここに細かい河状模様の発生が起ると考えられる。同様な考えのもとに低温で破壊した試料の方が、常温で破壊した試料よりもその劈開面上の河状模様の枝分れの少ないことも、低温の方が割れの速度の減少が少ないことを考えれば説明出来る(写真-9)。したがって、この種の現象をモザイク粒界を作る刃状転位群とむすびつけて解釈する事は誤まりと思う。刃状転位で説明するには出来る階段の高さが桁ちがいに大きいことからわかるであろう。

### (6) 河状模様高さの変化

河状模様の観察結果からわかるように、割れの源から発生した河状模様はその成長過程において次第に高さを減少してゆくが、このことは、最初に出来た河状模様が高さの低い河状模様を枝分れすることによって起る現象と考えられる。この実例を示したのが写真-10で、図-5

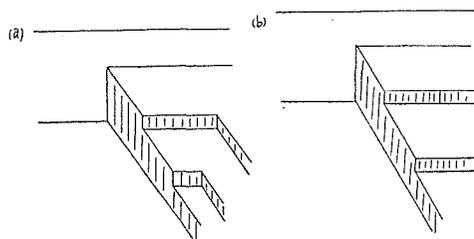


図-5 枝分れによる河状模様高さの減少の模式図

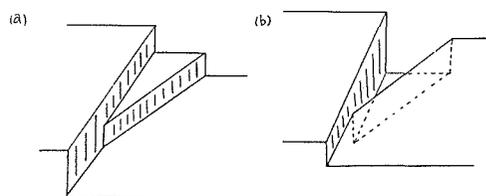


図-6 2つの河状模様の合体による河状模様高さの変化の模式図

はこの状況を模式的に示したものである。図-6は2つの河状模様の合体による高さの変化を示したもので、夫々の階段の向きが如何によつて、合体して出来た河状模様の高さが異なることを示しており、その実例を写真-11に示した。

### (7) 双晶の基底面に認められる河状模様

写真-12 は、双晶の基底面に沿って破壊した試料の劈開面に認められた河状模様で普通の劈開面(0001)で見られるものと同様の階段をなし、高さ  $0.1\sim 0.5\mu$  程度のものが多く、河状模様の個々の長さが一般に短かいのが特徴的である。

## IV. 結 論

以上述べた結果から次の事が結論された。

(1) 亜鉛単結晶の劈開面に認められる河状模様は、割れ目ではなく高さ数  $\text{\AA}\sim 10\mu$ 、あるいはそれ以上の劈開面上の階段である。

(2) 河状模様の成長方向は、割れの進行方向と密接な関係を有している。

(3) 河状模様の生成機構としては、次の2つの機構が重要である。すなわち、(a) 劈開割れの源ですでに形成されていた劈開面上の階段が、割れの進行と共に劈開面上に階段を形成してゆくとい機構、(b) 互に平行な劈開面上に生じた劈開割れが割れの進行中に結ばれて2次的に階段を形成するという機構の2つである。

(4) 河状模様の生成は割れの発生時の試料の表面状態と外部応力の種類によつて、その密度、高さ等が変化し、生成後は割れの進行速度と結晶内部の欠陥および不純物等によつて影響される。

終りに電子顕微鏡写真の撮影にあたり種々と御協力下さつた北大電子顕微鏡研究室竹山太郎講師および佐藤義一・富田五郎両氏に感謝の意を表します。

なお本論文は著者の1人泉総一の修士論文の一部である。

## 引 用 文 献

- 1) C. Zapffe: Metal progress. 51, 428 (1947).
- 2) J. R. Low: The Relation of Microstructure to Brittle Fracture, A. S. M. Symposium Cleveland. 163 (1953).
- 3) J. R. Low: Deformation and Flow of Solids, I. U. T. A. M. Colloquium Madrid. 60 (1956).
- 4) J. J. Gilman: J. Metals. 7, 1252 (1955).
- 5) J. J. Gilman: J. Appl. Phys. 27, 1262 (1956).