UDC 539.389.1.096
539.379.4
546.34'161-162

LiF の低温における変形の活性化体積

Activation Volume for Yielding and Flow in LiF at Low Temperatures

金　鉉 奎*・中 村 和 夫*・鈴 木 敬 愛*
Hyongyu KIM, Kazuo NAKAMURA and Takayoshi SUZUKI

1. ま え が き

LiF 単結晶の降伏応力の温度および歪速度依存性を測定し，特に 15.5K 以下の温度では，パイエルス機構による転位の熱活性化運動が変形を律速していると考えると実験結果をよく説明できることを報告した[1]（以下,〔I〕として引用する）. すなわち，転位の熱活性化運動による歪の進行

$$\dot{\varepsilon}=\dot{\varepsilon}_0\cdot\exp[-U(\tau)/kT] \quad (1)$$

と，2次函数の組み合せで表わしたパイエルス・ポテンシャルに対するキンク対形成の活性化エネルギー

$$U(\tau)=U_0\cdot(1-\tau/\tau_P)^2 \quad (2)$$

を用い，パイエルス応力 $\tau_P=2.0\,\mathrm{kg/mm^2}$ とすると，降伏応力 τ —温度 T—歪速度 $\dot{\varepsilon}$ の関係をよく記述することができた(図 1 参照).

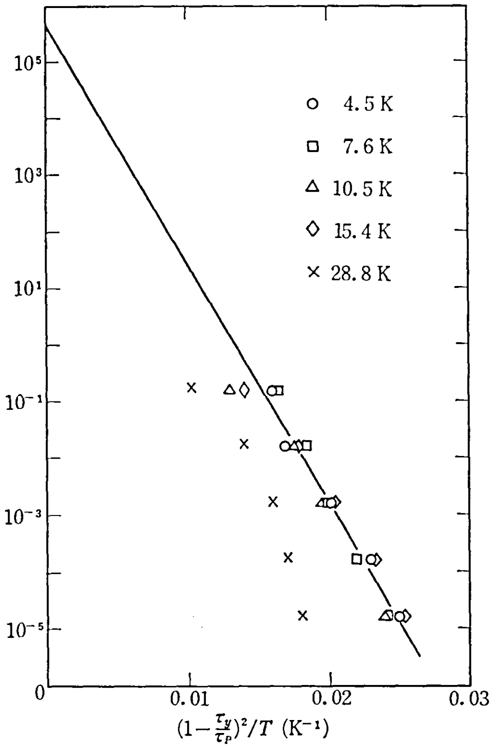

図 1　LiF 単結晶の降伏応力 τ_y, 温度 T と歪速度 $\dot{\varepsilon}$ の関係; $\tau_P=2.0\,\mathrm{kg/mm^2}$ とした.

また，U_0 の値も計算値と比較して妥当な大きさであった.

パイエルス機構が塑性変形の進行を律速しいてるとする結論が正しいならば，降伏および変形過程での活性化体積が上記〔I〕の解析結果と矛盾せず，かつ，パイエルス機構としての性質を備えていることが示されねばならない. そのために,〔I〕で解析した領域を中心として，活性化体積の測定を行った.

2. 実験および考察

LiF 単結晶の圧縮試験を行い，次のような方法で活性化体積を測定した.

(1)式の $\dot{\varepsilon}_0$ は一般に応力 τ と温度 T に敏感ではないから，活性化体積では次の形に表わすことができる.

$$v\equiv-\left(\frac{\partial U(\tau)}{\partial\tau}\right)_T\simeq kT\left(\frac{\partial\ln\dot{\varepsilon}}{\partial\tau}\right)_T \quad (3)$$

一定温度で，歪速度を $\dot{\varepsilon}_1\rightarrow\dot{\varepsilon}_2$ に変化させたときの応力の変化 $\Delta\tau=\tau_2-\tau_1$ を測定して v を計算する.

実験に用いた LiF 単結晶の試料および圧縮試験の方法は〔I〕に記述したとおりである.

図 2 (a)は，8.7K における LiF の変形応力に対する歪速度変化の効果である. $\dot{\varepsilon}$ は 1.65×10^{-5}sec と $8.25\times10^{-4}\mathrm{sec^{-1}}$ の間を往復しつつ，圧縮歪約 3％（せん断歪約 6％）まで変形した.

(3)式の関係から活性化体積を計算し，せん断歪 ε に対してプロットすると図 2 (b)のようになる. せん断歪 6％までの範囲で v は歪硬化と無関係に一定と見なすことができる. また，$\dot{\varepsilon}$ の上昇時と下降時に求めた v の値に有意の差は認められない.

活性化体積が歪硬化に依存しないことは，(1)式の活性化エネルギー $U(\tau)$ に含まれる τ は，外力 τ_{appl} そのものではなく，実効的な応力 τ_{eff} であって変形中一定に保たれていることを意味する. すなわち,

$$\tau=\tau_{eff}=\tau_{appl}-\tau_i=\mathrm{const} \quad (4)$$

と表わされ，加工硬化は転位に働く内部応力場 τ_i の増加によって進むと考えなければならない. 転位間の相互作用（切り合い）による抵抗が変形応力を決めている場合には，(4)式のように考えることはできず，活性化体積は歪硬化とともに減少する. パイエルス機構では，転

* 東京大学生産技術研究所　第1部

研　究　速　報

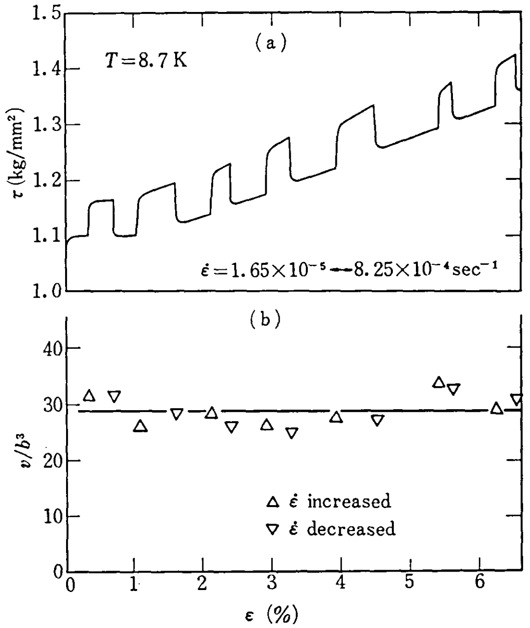

図 2　活性化体積 v とせん断歪 ε の関係；v はバーガース・ベクトルの 3 剰を単位として表わしてある (b=2.84 Å).

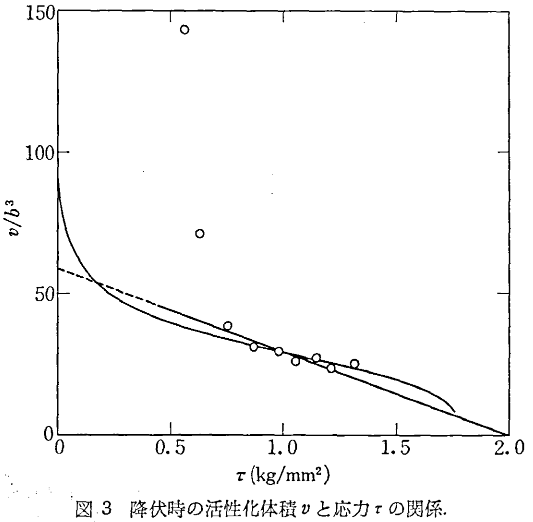

図 3　降伏時の活性化体積 v と応力 τ の関係.

位運動の律速過程（キンク対形成）が変形状態に無関係であるから(4)式が成立つはずである.

図3は，降伏直後に $\dot{\varepsilon}_1=1.65\times10^{-5}\text{sec}^{-1}$ から $\dot{\varepsilon}_2=1.65\times10^{-3}\text{sec}^{-1}$ に変化させたときの応力の増加 $\Delta\tau$ から求めた活性化体積 v と応力の関係である. ただし，応力値としては2つの歪速度における降伏応力の平均値をとり，温度をいろいろに変えて測定したものである. $\tau>0.7\,\text{kg/mm}^2$ で v は $30\,b^3$ 程度の小さい値になり，τ の増加とともにゆるやかに減少しているが，これはパイエルス機構のとき期待されるものである.

活性化エネルギーとして(2)式がよい近似であるならば，活性化体積はこれを τ で微分して，

$$v(\tau)=\frac{2U_0}{\tau_P}\left(1-\frac{\tau}{\tau_P}\right) \qquad (5)$$

〔I〕で求めた $\tau_P=2.0\,\text{kg/mm}^2$, $U_0=1.35\times10^{-13}$ erg を用いると(5)式は図3の中の直線となり，$\tau>0.7\,\text{kg/mm}^2$ の範囲で測定値とよく一致する. したがって，〔I〕の解析と活性化体積の応力依存性の間に矛盾はない.

図3の中の曲線は，正弦函数形のパイエルス・ポテンシャルについて求めた $U(\tau)$ から計算した v と τ の関係で，〔I〕に記したように $\tau_P=1.75\,\text{kg/mm}^2$ とした場合である. パイエルス・ポテンシャルの形が2次函数に近いか正弦函数に近いかは判定し難い.

〔I〕の解析結果および v-τ の関係から考えて，(4)式の中の内部応力 τ_i は降伏点では無視できる大きさでなければならない.

最後に，20K以下の降伏応力が不純物の効果によるものでないことを立証するためには，不純物濃度の異る結晶においてもこの領域の降伏応力が変らないことを示さねばならない. しかし，20K以上で本実験に用いた結晶より軟い結晶を入手することは困難であり，これは将来に残された課題である.　　(1974年5月25日受理)

3. む す び

LiF 単結晶の降伏ないし塑性変形過程での活性化体積の測定を 20K 以下の温度領域で行い，次の結果を得た.

活性化体積は歪硬化に依らず一定で，かつ，応力とともにゆるやかに減少する. ゆえに，転位の切り合いによる効果は変形応力を支配する機構として否定される. 活性化体積と応力の関係はパイエルス機構によって，降伏応力―温度―歪速度の関係と同様，矛盾なく説明できる.

参 考 文 献

1) 金鉉奎，中村和夫，鈴木敬愛：生産研究，24-5 (1974) 174.