

Title	アルカリハライド固溶体の低温降伏強度
Author(s)	片岡, 俊彦
Citation	大阪大学低温センターだより. 1979, 26, p. 7-9
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/4760
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

アルカリハライド固溶体の低温降伏強度

工学部 片岡俊彦 (吹田 4613)

材料の降伏強度が温度の低下とともに上昇することはよく知られた事実である。しかし、その機構を定量的に議論しようとする、なかなか簡単にはゆかない。塑性変形は転位の運動によって起っている。転位論における転位の静力学的側面はすでに完成され、多くの実用的な問題の解釈に役立ってきた。しかし、材料強度の温度変化などといった問題を考える場合には転位の動力学が明らかにされねばならない。すなわち転位が与えられた外力と温度のもとでどのように運動するかを知る必要がある。このような転位の運動は熱活性化過程として扱われている。

塑性の実験では、外部から一定のひずみ速度を与えたときの応力変化を測定するという方法がしばしばとられる。そのときのひずみ速度 $\dot{\gamma}$ と外部応力 τ の関係は次のアレニウスの式で表示される。

$$\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_0 \exp - \frac{\Delta U(\tau)}{kT} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $\dot{\gamma}_0$ は応力にも温度にも依存しない定数、 $\Delta U(\tau)$ は転位の運動を妨げている障害物のエネルギー障壁であり、外部応力 τ に対して減少関数である。kはボルツマン定数、Tは絶対温度である。(1)式は、いわば結晶の塑性変形の際の状態方程式と考えてもらえばよい。たとえば、いま、インストロンタイプの試験機で $\dot{\gamma}$ 一定という変形試験を行なった場合を考えると、 $\Delta U(\tau)/T$ は一定となるから、 $\Delta U(\tau)$ の関数形がそのまま降伏強度の温度依存性を与えることになる。逆に言えば、降伏強度の温度依存性を測定することによって $\Delta U(\tau)$ を決定し、転位運動を律速している障害物を推定することができる。しかし、その前は(1)式が成り立つという前提を置いているので、これは実験的にチェックしておく必要がある。

前おきはそのくらいにして表題のアルカリハライド固溶体の問題に入ろう。アルカリハライドというとイオン結晶の代表格でその歴史も古く、何を今さらと言われそうなのがす

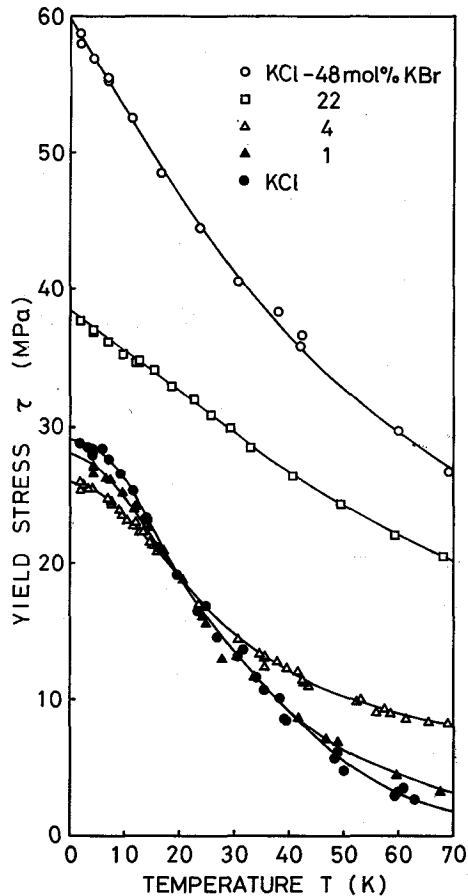


図1. 降伏応力の温度依存性

るが、塑性変形という立場からながめるとまだまだ魅力のある材料である。この材料を混ぜ合わせて固溶体にしたときの強度について考えてみようというのである。固溶体硬化は実的な面からも重要な現象であり、それに関する研究も主として金属に対して数多くなされてはきたが、定量的な議論が可能になってきたのはごく最近のことである。それというのも転位というのは長さのディメンジョンをもったやっかいな代物で、従来の物理学が粒子に対して好都合にできているのに対してこういった“ふにやふにや曲る長いひも”については、それを扱う道具立てがそろっていないからである。

図1はKClおよびKCl-KBr 固溶体単結晶の降伏度 τ を1.9 Kから液体窒素温度近くまで測定した結果である。KCl-22mol%KBr, KCl-48mol%KBrのような高濃度固溶体については、濃度の高い方が全温度領域で降伏強度は大きく、温度に対してはその上昇とともに単調に減少している。この様子は最近著者らが提唱した高濃度固溶体の降伏強度を与えるモデル¹⁾により極低温領域を除けばよく説明される。一方、低濃度のKCl-1mol%KBr, KCl-4mol%KBrの曲線は複雑で、高温側では濃度が高いほど、強度は大きい、低温側では逆に、単組成KClよりも強度の小さい領域が出現してくる。この現象は固溶軟化と呼ばれ、体心立方格子金属では液体窒素温度あたりですで見られていたが、イオン結晶の場合は、このKCl-KBr系の極低温領域で初めて見出された²⁾この原因は、結晶の低温での塑性変形がパイエルス機構により支配されているためと考えられている。パイエルス機構というのは、転位線が1原子間隔程度移動する場合にでも、結晶格子の周期性のため、エネルギー変動を生じ、それが転位運動の障害として働くというものである。今の場合、このような周期ポテンシャルの中にも溶質原子と転位の相互作用によって決められるポテンシャル場が分布しているわけで、これがかえってパイエルス障壁を乗り越えやすくしていると考えられる。また、単組成KCl および低濃度固溶体の曲線で気をつくことは、低温領域でその傾きがゆるやかになり、降伏強度が温度に依存しなくなっているように見えることである。これは転位の運動が熱活性化過程によっているのではなく、量子力学的なトンネリングによりエネルギー障壁を越えていると考えることができるかもしれない³⁾しかし、この傾向が溶質原子の添加によって助長されていることから考えて、溶質原子の存在を考慮したパイエルス機構により説明がつくものと思っている。さて、これらの結晶について、活性化体積 V なる量を求めた結果が図2である。活性化体積というのは活性化エネルギー $\Delta U(\tau)$ を応力 τ で微分したも

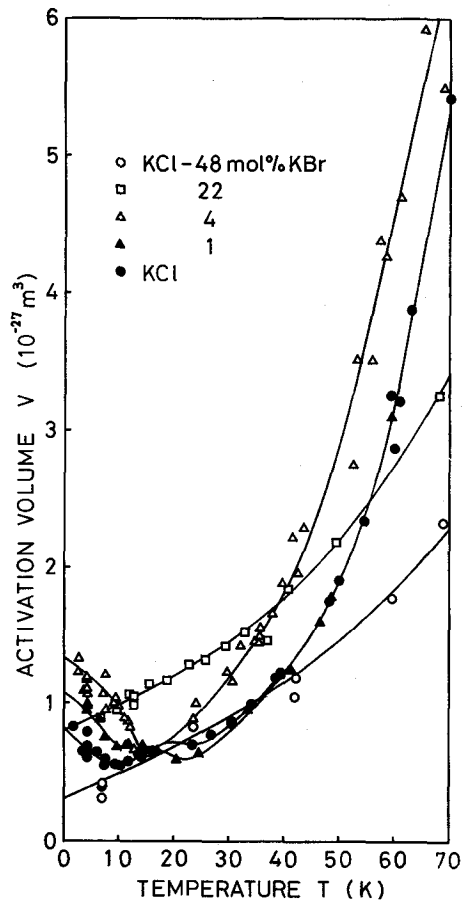


図2. 活性化体積の温度依存性

ので、ひずみ速度急変試験による応力変化を測定することによって実験的に求められる。物理的な意味としては、転位線が障害物にひっかかった安定位置から活性化位置へ移動するとき掃いた面積にパーガースベクトルの大きさを乗じたものとなる。図2で高濃度固溶体の曲線は単調であるが、図1で固溶軟化を示した低濃度固溶体や単組成 KCl については、低温で極小値をとったのち上昇するという異常が現われている。このことは降伏強度の温度依存性の曲線の傾きが低温でゆるくなるということに対応している。

図1. 図2の測定結果を用いて $\Delta U(\tau)$ を求めることができる。図3はその結果を $\Delta U/kT$ として

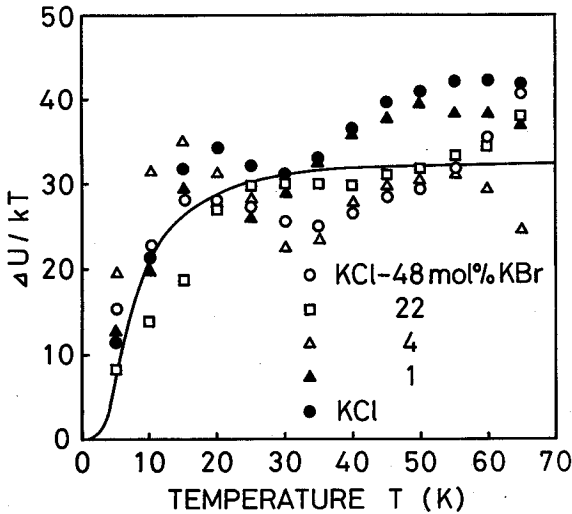


図3. 活性化エネルギーと温度の関係

プロットしたものであるが、仮りに(1)式が正しいものとするれば $\Delta U/kT$ は常に一定値をとらなければならない。しかしながら、今の場合、低温でこの値が急激に減少している。データ点のばらつきは大きい、この低温域での減少は実験誤差だけでは説明できないものとなっている。すなわち、極低温においては(1)式で表わされる熱活性化過程が成り立っていない。しかも、このはずれを生じている温度領域は約20 K以下とどの試料にも共通しており、転位運動を律速している機構には無関係のようである。

Alefeld⁴⁾は熱エネルギー kT を量子論的に計算し、(1)式を修正した結果、図3のプロットにおいては実線で示すような曲線になることを示した。我々の結果は一見合っているように

も思えるが、細かな点ではいくつかの問題点を含んでいる。

以上、大ざっぱではあるが、アルカリハライド固溶体の低温塑性についてながめてきた。その結果、次の2点を今後の問題点として挙げる事ができる。その第1は低温における固溶軟化現象である。これはアルカリハライド結晶のパイエルス機構を考える上で重要な問題を含んでいる。第2は極低温において通常の熱活性化過程からはずれるということである。このことは転位が運動する際に量子論的な効果が現われている可能性も含んでおり、転位運動の基本的問題として今後の課題となるであろう。

参考文献

- 1) T. Kataoka and T. Yamada: Japan. J. appl. Phys. **18** (1979) 55.
- 2) T. Kataoka, T. Uematsu and T. Yamada: Japan. J. appl. Phys. **17** (1978) 271.
- 3) 鈴木敬愛: 第18回格子欠陥会議予稿集“格子欠陥の熱的運動”(1977) P. 35.
- 4) G. Alefeld: Phys. Rev. Letters **12** (1964) 372.