

〈一般研究課題〉 閃亜鉛鉱型結晶の変形特性における光環境効果に関する研究

助成研究者 名古屋大学 小椋 優



## 閃亜鉛鉱型結晶の変形特性における 光環境効果に関する研究

小椋 優  
(名古屋大学)

### Effect of light illumination on room-temperature plastic deformation of ZnTe single crystals

Yu Ogura  
(Nagoya University)

#### Abstract :

Zinc sulfide (ZnS) single crystals, a kind of II-VI compound semiconductors, exhibit ductility even at room temperature when deformed in darkness, while brittleness in lights. The light-environment-dependent plasticity has been considered to be caused by dislocations, lattice defects in crystals. Dislocations can bring about unique functional properties that are quite different from the bulk due to the characteristic atomic and electronic structures. Here, in this study, we performed room-temperature compression tests under controlled light conditions for zinc telluride (ZnTe) single crystals with zinblende structure same as ZnS.

#### 1. はじめに

無機半導体結晶は、共有結合やイオン結合に基づく強固な原子間結合やその複雑な結晶構造から、室温において脆的な性質を示すと考えられてきた。一方で、II-VI 族化合物半導体の1つである硫化亜鉛(ZnS)単結晶では、その可塑性が光環境に大きく依存し、光のない暗室環境下であれば室温でも金属材料のような延性的な大変形を呈す[1]。近年の理論解析によると、硫化亜鉛(ZnS)中の転位(図1参照)は特異な原子・電子構造を有し、キャリアと相互作用する機能を有す[2]。そうした相互作用の結果とし

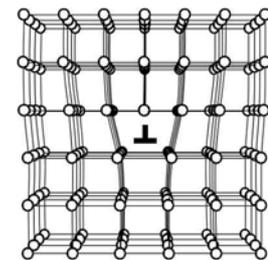


図1 転位の模式図.

て、転位の運動性が低下し、光照射下において脆性が発現すると考えられた。このようにして、硫化亜鉛(ZnS)単結晶の変形特性において光環境が1つの大きな因子であることがわかってきた。一方で、他の無機半導体結晶の変形特性における光環境効果について十分な調査はなされていない。そこで本研究では、硫化亜鉛(ZnS)と同じ閃亜鉛鉱型構造(図2参照)を有する硫化テルル(ZnTe)単結晶を対象に、光環境制御下における室温変形試験を実施した。

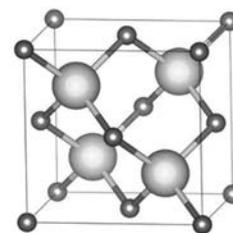


図2 閃亜鉛鉱型構造.

## 2. 実験方法

図3に、変形試験に使用した試料の形状および結晶方位を示す。荷重方向は[001]であり、主すべり系はシュミット因子が0.408となる<110>{111}である。室温(24℃)大気中において、一定ひずみ速度( $\dot{\epsilon} = 1.0 \times 10^{-5}/s$ )の一軸圧縮変形試験を実施した。変形試験時には、暗幕を用いて試料を暗室保持し、適宜、試料に光を照射することにより光環境を制御した。図4および図5に光源のスペクトルおよび未変形結晶の透過特性を示す。光照射により、結晶中に光励起キャリアが発生すると考えられる。

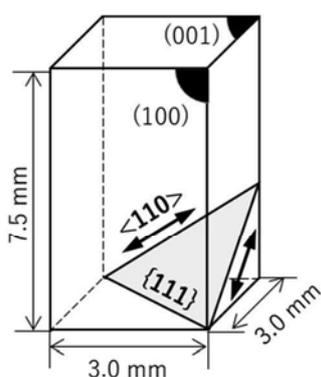


図3 試料形状および結晶方位.

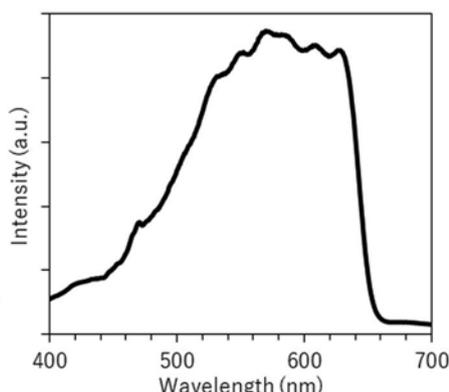


図4 光源のスペクトル.

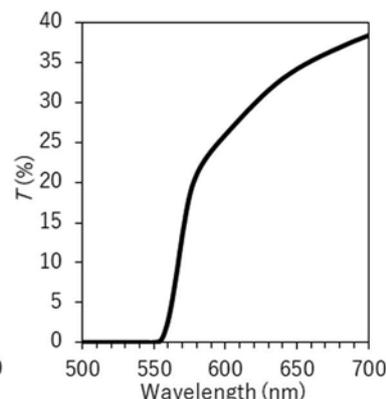


図5 未変形結晶の透過特性.

## 3. 実験結果

図5に、暗室下および光照射下にて実施した応力-ひずみ曲線を示す。光環境によらず、ひずみ量15%程度まで塑性変形が生じた。また、変形後の結晶について、レーザー顕微鏡を用いて表面形状の観察を行ったところ、すべり線の形成がみられた。したがって、いずれの光環境下においても転位のすべり運動が変形を担っていると考えられる。一方で、降伏応力および変形応力は光照射下において増加し、光環境に対して依存性がみられた。光照射により転位の運動が抑制されていると推察される。

第一原理に基づく理論解析[3]によると、テルル化亜鉛(ZnTe)中の転位は、自由キャリアをトラップする効果を有する。そして、キャリアをトラップし

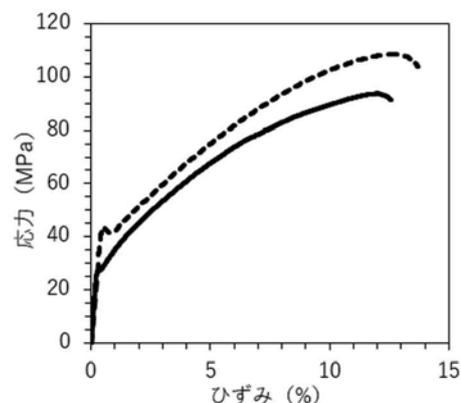


図5 応力-ひずみ曲線. 点線: 暗室下, 破線: 光照射下.

た転位は、そのコア構造を変化させ、エネルギー的に安定化することがわかっている。その結果として、転位の運動性が低下し、降伏応力および変形応力が上昇すると考えられる。

#### 4. まとめ

テルル化亜鉛(ZnTe)単結晶について、光環境制御下における室温変形試験を実施した。暗室下および光環境下いずれにおいても、ひずみ量 10%を超える塑性変形が可能であることがわかった。変形後結晶についての表面形状観察から、これらの変形は転位のすべり運動によると考えられる。光照射下においては、暗室変形時と比較して、降伏応力および変形応力の上昇がみとめられた。光照射により、転位の運動が抑制されていると推察される。このようにして、テルル化亜鉛(ZnTe)の変形特性において光環境が影響を及ぼすことが確認された。

#### 参考文献

- [1] Yu Oshima, Atsutomo Nakamura, Katsuyuki Matsunaga, Extraordinary plasticity of an inorganic semiconductor in darkness, *Science* 360 (2018).
- [2] Katsuyuki Matsunaga, Sena Hoshino, Masaya Ukita, Yu Oshima, Tatsuya Yokoi, Atsutomo Nakamura, Carrier-trapping induced reconstruction of partial-dislocation cores responsible for light-illumination controlled plasticity in an inorganic semiconductor, *Acta Materialia* 195 (2020).
- [3] Sena Hoshino, Yu Oshima, Tatsuya Yokoi, Atsutomo Nakamura, Katsuyuki Matsunaga, DFT calculations of carrier-trapping effects on atomic structures of 30° partial dislocation cores in zincblende II-VI group zinc compounds, *Physical review materials* 7 (2023).