



|              |  |
|--------------|--|
| Title        | ウルツ鉱型半導体のナノスケール力学特性評価と転位挙動   |
| Author(s)    | 大栗, 洋人   |
| Citation     | 大阪大学, 2025, 博士論文   |
| Version Type |  |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/101692">https://hdl.handle.net/11094/101692</a>  |
| rights       |  |
| Note         | やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

|          |                            |
|----------|----------------------------|
| 氏名（大栗洋人） |                            |
| 論文題名     | ウルツ鉱型半導体のナノスケール力学特性評価と転位挙動 |
| 論文内容の要旨  |                            |

ウルツ鉱型半導体材料は、広いバンドギャップと高い化学的安定性から半導体デバイス素子として広く利用されている。その一方で、脆く壊れやすいという力学特性から加工性や生産性に乏しいという課題がある。近年、近縁の閃亜鉛鉱型半導体材料において光環境により可塑性が変化することが見出され、ウルツ鉱型半導体材料においても光環境の影響を考慮し、力学特性を再調査することが求められている。そこで本研究では、代表的なウルツ鉱型半導体材料である酸化亜鉛（ZnO）と窒化ガリウム（GaN）に対して、ナノインデンテーション法を用いて光環境制御下で力学特性評価を行うとともに、ナノスケール力学特性を支配する転位挙動の調査を行った。

まず、ZnOとGaNの+c面に対する力学特性評価により、錐面転位が塑性変形初期では支配的に活動するとともに、光照射により転位のすべり運動が抑制されることを見出した。次に、ウルツ鉱型結晶構造特有の異方性の影響を評価した。その結果、+c面以外の結晶面に対する試験においても光照射が転位のすべり運動を抑制することが確認された。この光環境効果には顕著な異方性が認められ、主すべりとして活動するすべり系の違いのため、結晶面により光環境効果が異なることが明らかとなった。続いて、ウルツ鉱型結晶構造におけるc軸方向の極性が力学特性に及ぼす影響を評価した。その結果、押し込み変形挙動が+c面と-c面で大きく異なることが認められた。結晶構造の極性に起因し、主すべりとして活動する転位のコア構造に違いが生じたことが要因と推察された。さらに、試料の表面構造がナノスケール力学特性に及ぼす影響を評価した。原子レベルで平滑な表面を用いることで顕著に収束した最大せん断応力分布が得られることを見出し、ナノインデンテーション法における表面平坦性の重要性を浮き彫りにした。

このようにナノインデンテーション法を用いて、光環境制御下におけるウルツ鉱型半導体材料のナノスケール力学特性評価に成功し、それらの転位挙動に及ぼす光環境効果の解明を行った。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏名 (大栗洋人) |       |      |
|-----------|-------|------|
| 論文審査担当者   | (職)   | 氏名   |
|           | 主査 教授 | 中村篤智 |
|           | 副査 教授 | 尾方成信 |
|           | 副査 教授 | 垂水竜一 |

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、ウルツ鉱型半導体材料の力学特性に関する研究を対象とし、特に光環境がナノスケールでの転位挙動に及ぼす影響を明らかにしたものである。

ウルツ鉱型半導体材料は優れた電気特性や光物性を有することから各種半導体デバイスに広く応用されているが、力学特性は脆く壊れやすい性質を示し、加工性が低く生産性に乏しいという課題がある。本研究では、代表的なウルツ鉱型半導体である酸化亜鉛 (ZnO) および窒化ガリウム (GaN) を対象に、ナノインデンテーション法を用いて光環境制御下における力学特性を系統的に調査し、ナノスケールでの転位挙動に及ぼす光環境効果の評価を行った。

まず、ウルツ鉱型構造の+c面に対する力学特性評価を行い、塑性変形初期では錐面転位が支配的に活動すること、さらに光照射によって転位のすべり運動が抑制されることを明らかにした。次に、ウルツ鉱型構造の結晶構造上の異方性の影響を調査し、光照射効果が結晶面により大きく異なることを見出した。これは、活動する転位種により光環境効果が異なるためと説明している。また、ウルツ鉱型構造におけるc軸方向の極性が力学特性に及ぼす影響を調査し、押し込み変形挙動に極性により差異が生じることを明らかにした。さらには、試料表面の平滑性がナノインデンテーション試験結果に及ぼす影響を調査し、原子レベルで平滑な表面を用いることでpop-in現象の発生荷重のばらつきが抑制され、最大せん断応力分布が収束することを確認した。

これらの研究成果の過半はすでに英語での国際学術論文として掲載されているものである。加えて、当該論文の内容に対する試問から、論文提出者は当該研究分野および周辺領域について十分な知識と理解を有していると判断した。よって、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。