

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |   |
|-------------------|---|
| 題目(和文)            |   |
| Title(English)    | Optical interaction enhancement of MoS2 using nanostructures investigated by cathodoluminescence  |
| 著者(和文)            | VuThi Dung  |
| Author(English)   | Thi Dung Vu   |
| 出典(和文)            | 学位:博士(工学),<br>学位授与機関:東京工業大学,<br>報告番号:甲第12199号,<br>授与年月日:2022年9月22日,<br>学位の種別:課程博士,<br>審査員:三宮 工,北本 仁孝,中辻 寛,和田 裕之,梶川 浩太郎  |
| Citation(English) | Degree:Doctor (Engineering),<br>Conferring organization: Tokyo Institute of Technology,<br>Report number:甲第12199号,<br>Conferred date:2022/9/22,<br>Degree Type:Course doctor,<br>Examiner:,,,,, |
| 学位種別(和文)          | 博士論文  |
| Category(English) | Doctoral Thesis   |
| 種別(和文)            | 審査の要旨   |
| Type(English)     | Exam Summary  |

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

| 報告番号        | 甲第  | 号     | 学位申請者氏名 |     | Dung Thi Vu |    |
|-------------|-----|-------|---------|-----|-------------|----|
|             |     | 氏名    | 職名      |     | 氏名          | 職名 |
| 論文審査<br>審査員 | 主査  | 三宮 工  | 准教授     | 審査員 | 梶川 浩太郎      | 教授 |
|             | 審査員 | 北本 仁孝 | 教授      |     |             |    |
|             |     | 中辻 寛  | 准教授     |     |             |    |
|             |     | 和田 裕之 | 准教授     |     |             |    |

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Optical interaction enhancement of MoS<sub>2</sub> using nanostructures investigated by cathodoluminescence」と題し、英文で書かれ全6章から構成されている。

第1章「Introduction」では、表面プラズモンに代表されるようなナノフォトニック・ナノプラズモニック構造を用いて光と物質の相互作用を高めることが可能であり、近年2次元材料として注目を集めている遷移金属カルコゲナイドの発光増強にもこれらのナノ構造による発光増強が有効であると説明されている。また、実用的なナノ構造の作製には自己組織化を用いた方法が有効であることに言及し、ナノ構造と発光材料の相互作用の解明には局所的な発光観察が必要であることが述べられている。これらを踏まえて本研究の目的が、代表的な遷移金属カルコゲナイドである二硫化モリブデン(MoS<sub>2</sub>)を、ナノ構造と光学的に結合することで発光増強を実現し、このナノスケールの光学結合を電子線励起発光であるカソードルミネセンスを用いて解析することであると説明されている。

第2章「Method」では、本研究で用いる試料作製方法であるコロイドの自己組織化を用いたコロイダルリソグラフィと、ナノスケールでの光学特性の解析が可能な走査透過電子顕微鏡によるカソードルミネセンス法について説明されている。

第3章「Short-range ordered plasmonic nanoholes」では、コロイダルリソグラフィにより大面積で作製可能な短範囲規則を持つプラズモニックナノホールを作製し、その光学特性を調査した結果が示されている。マクロスコピックに計測された透過スペクトルでは、ホール間の平均的な動径分布に対応した共鳴ピークが観察されるが、カソードルミネセンスによるナノスケールでの局所電場解析では、ホール間距離に依存して、局所的に異なる共鳴が生じていることが見い出されている。また、ナノホールのランダムな分布に起因した、アンダーソン局在に対応する強い電場が点在していることも述べられている。強い電場増強が得られる一方で、この構造は不均一であるため相互作用の解析には不向きであることも指摘している。

第4章「Luminescence enhancement in MoS<sub>2</sub> flakes through coupling with plasmonic resonance」では、コロイダルリソグラフィにより周期配列を持つナノプラズモニック構造を作製し、MoS<sub>2</sub> フレークとの相互作用を解析した結果が示されている。ナノ構造としては、エッジに強い電場増強を持つナノピラミッドを六角形に配列した構造が採用されている。カソードルミネセンスを用いた解析では、周期構造に対応した表面格子共鳴の分散関係が得られており、空間マッピングからはナノピラミッド先端に強い電場が存在することが示されている。このナノピラミッド構造に MoS<sub>2</sub> フレークを分散した試料を、カソードルミネセンスを用いて観察することで、ピラミッド先端と MoS<sub>2</sub> フレークが重なった位置において局所的な発光増強が確認され、これは局在表面プラズモンと MoS<sub>2</sub> のエキシトンの相互作用によるものであると結論づけられている。発光増強の強さは位置によって違いがあり、これはナノピラミッドと MoS<sub>2</sub> とのギャップが均一でないことに由来すると説明されている。

第5章「Exciton dielectric mode coupling in MoS<sub>2</sub> nanoflakes」では、ナノフレーク状の MoS<sub>2</sub> 粒子内の電気双極子モードとエキシトンのカップリングを利用した発光増強についての結果が示されている。MoS<sub>2</sub> ナノフレークの発光スペクトルは、複数の発光ピークから構成されているため、それぞれのモードを分離するために、カソードルミネセンス・スペクトルのフィッティングによりピーク分離する解析手法が適用されている。このピーク分離を用い、マッピングにおいて、それぞれのモードの寄与の空間分布を明らかにしている。その結果、MoS<sub>2</sub> のエキシトンピークに相当するエネルギーにおいても、電気双極子と同様の発光分布が得られており、エキシトンと電気双極子がカップリングしていると説明している。また、発光角度分布も双極子のそれにほぼ対応しており、発光が結合していることを裏付けている。これらの結果は、境界要素法によるカソードルミネセンスのシミュレーションでも再現されており、この解釈を確かなものとしている。

第6章「Conclusion and outlook」では、本研究の結果をまとめ、本論文を総括するとともに将来展望について述べている。

以上を要するに本研究は、コロイダルリソグラフィーによるナノプラズモニック構造を作製し、ナノ構造と  $\text{MoS}_2$  の相互作用による局所発光増強をカソードルミネセンスを用いて実験的に示したものである。これらは、発光材料の高効率利用の指針となるものであり、工学上及び科学技術上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。