

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ナノスケール材料の光学的および光物理的特性における表面プラズモンポラリトンの影響の研究
Title(English)	Study of the effect of surface plasmon polariton on optical and photophysical properties of nanoscale materials
著者(和文)	TANQiwen
Author(English)	Qiwen Tan
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12863号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:VACHA MARTIN,三宮 工,早水 裕平,相良 剛光,金子 哲
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12863号, Conferred date:2024/9/20, Degree Type:Course doctor, 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	TAN Qiwen	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	VACHA Martin	教授	金子 哲	准教授
	審査員	三宮 工	准教授		
		早水 裕平	准教授		
相良 剛光		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Study of the effect of surface plasmon polariton on optical and photophysical properties of nanoscale materials (ナノスケール材料の光学および光物理的特性における表面プラズモンポラリトンの影響の研究)」と題し、以下の5章で構成されており、英文で書かれている。

第1章「General introduction」では、本研究の背景を概観し、研究の意義と目的について述べている。近年、表面プラズモンポラリトン (SPPs) がナノスケール材料の光学および光物理特性に与える影響が大きく注目されている。この章では、SPPs の物理学についてレビューを行い、その波動方程式をマクスウェル方程式から導出している。そして、SPP の特性とマクスウェル方程式を組み合わせることで、入射波長および SPPs の波数が金属と誘電体の誘電率の関数として得られる。重要な特性として、入射光と SPPs の間の分散関係、界面に沿った伝搬長、金属および誘電体内での減衰長が波動方程式から導出される。これらの理論的基盤を踏まえた上で、ナノ材料における SPPs の特徴や基礎的な光物理過程についても述べ、本研究の目的と意義を明確にしている。

第2章「Enhanced photoluminescence of CdSe/ZnS core-shell quantum dots induced by surface plasmon nanohole arrays」では、CdSe/ZnS コアシェル量子ドットと金ナノホールアレイ上で生成される表面プラズモンポラリトンの相互作用を探究している。得られた実験結果は、SPPs の存在が量子ドットのフォトルミネセンス (PL) を大幅に増強することを示している。3次元有限差分時間領域 (3D FDTD) シミュレーションから、サンプル構造に応じて平均 3.19 倍および 2.81 倍の吸収増強が確認できた。実験測定により、量子ドットからの総 PL 増強が平均 4.71 倍および 4.58 倍であることが明らかになり、吸収増強と発光増強の間に顕著な差があることが示された。この差異は純粋な発光増強に起因し、量子ドット内の励起子と SPPs とのカップリングがあることを明らかとしている。

第3章「Spectrally selective leakage of light from self-assembled supramolecular nanofiber waveguides induced by surface plasmon polaritons」では、トリス (フェニルイソキサゾリル) ベンゼン誘導体の超分子ナノファイバーに励起光を照射したときの導波路光の漏れについて述べている。得られたナノファイバーは光導波路として機能し、レーザー焦点で励起されると、大きな直径のファイバーでは顕著な蛍光の導波路を示した。金ナノホールアレイ上にこれらのナノファイバーを置くと、SPPs の共鳴波長に一致するスペクトルを持つ導波路光の漏れが顕著に見られた。この現象のメカニズムとして、波導のエバネッセント場が SPPs を励起して漏れを増強する、あるいはプラズモニック基板近くの局所状態密度の変化が直接的に漏れを増強する可能性があることを明らかにしている。

第4章「Surface plasmon polariton enhanced exciton diffusion in supramolecular nanofibers」では、ダンベル状の両親媒性分子が形成する超分子ナノファイバーにおける励起子拡散について調査している。実験では、平坦な金および金ナノホールアレイ上に置いたナノファイバーが、400 nm を超える励起子拡散長を示すことを明らかにしている。特に、ナノホールの方向に整列したナノファイバーが最大 1100 nm の励起子拡散長を示し、SPPs がナノファイバー中のモノマー間の Förster エネルギー移動を効率的に促進し、ナノファイバー内の励起子拡散を促進することを示唆する結果が得られたことを明らかにしている。

第5章「Conclusion」では、これまでに述べた研究成果を総括し、さらに今後の展望について述べている。これを要するに本論文では、表面プラズモンポラリトン (SPPs) がナノスケール材料の光学および光物理特性を大幅に増強する役割を果たすことを明らかにした。SPPs と量子ドットの相互作用は顕著なフォトルミネセンス増強をもたらし、超分子ナノファイバーにおいては光導波と Förster エネルギー移動の効率を向上させることで、励起子拡散長が延長する。以上の結果は、SPP とナノ材料が光学および光物理の面でどのように相互作用するかメカニズムを明らかにし、SPP の光電子デバイスへの応用に理論的な裏付けを提供するもので工学上ならびに工業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な価値が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。