



Title	Theoretical Study of Coherence-Driven Plasmonics —Beyond the Landau Damping Paradigm—
Author(s)	井上, 漱春
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/105544
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

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 （ 井 上 漱 春 ）	
論文題名	Theoretical Study of Coherence-Driven Plasmonics-Beyond the Landau Damping Paradigm- (コヒーレンス駆動プラズモニクスの理論的研究-ランダウ減衰の枠組みを超えて-)
論文内容の要旨	
本博士論文は、金属ナノ構造におけるプラズモン誘起ホットキャリア生成を対象とし、その微視的機構を、プラズモンの有する量子コヒーレンスの観点から理論的に解明することを目的とする。従来、ホットキャリア生成は、ランダウ減衰によるインコヒーレントな緩和によって支配される現象として理解されてきた。しかし近年、光吸収量で規格化された生成効率を表す内部量子効率の粒子密度依存的な増強や顕著な共鳴構造など、従来の枠組みでは説明が困難な現象が報告されている。これらは、プラズモンの有する量子コヒーレンスがキャリア生成過程に影響を与えていることを示唆しており、それを明示的に取り入れた微視的理論の必要性を示している。 第1章では、プラズモン物理およびホットキャリア生成の理論的基盤を概説し、ドルーデモデルに基づく古典的誘電応答理論が光学スペクトルの再現には有効である一方、電子自由度を消去しているためキャリア生成過程を記述できないという制約を明確にした。微視的多体理論との比較を通じて、緩和過程に基づく従来解釈の限界を整理した。第2章では、プラズモンに関わる二つの相補的な量子コヒーレンスに着目した理論的枠組みを構築した。ナノ粒子集団系に対しては、配列幾何や秩序性を反映したプラズモン間コヒーレンスとホットキャリア生成の関係を議論する有効理論を導入し、単一金属ナノ構造に対しては、プラズモン励起と電子正孔対励起の間のコヒーレンスを扱う微視的理論を展開する。第3章では、ナノ構造配列および光学キャビティを含む系に理論を適用し、キャビティによって強化されたプラズモン間コヒーレンスがエネルギー再分配を引き起こし、吸収増大ではなく、効率的なキャリア生成サイトへの協同的エネルギー集中に起因した内部量子効率の粒子密度依存的な増強をもたらすことを示す。第4章では、光学励起された金属薄膜系を対象に、プラズモンとキャリアの間の輻射的結合が内部量子効率のスペクトルを支配することを示し、内部量子効率スペクトルに現れる共鳴構造の微視的起源を明らかにする。 本博士論文は、ランダウ減衰を中心とする従来の枠組みを超え、量子コヒーレンスに基づくプラズモン誘起ホットキャリア生成の統一的理解を与え、高効率ホットキャリア生成を指向したプラズモニックナノ構造設計に対する理論的指針を提供する。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 （ 井 上 漱 春 ）			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	芦 田 昌 明
	副 査	教 授	倉 持 光
	副 査	教 授	田 中 秀 和
	副 査	教 授	石 原 一（立命館大学 総合科学技術研究機構）

論文審査の結果の要旨

本論文は、金属ナノ構造におけるプラズモン誘起ホットキャリア生成（Hot carrier generation: HCG）を、従来の「吸収（局所散逸）に比例して電子正孔対が生成される」という半古典的理解から拡張し、プラズモンの位相相関（コヒーレンス）が生成効率とスペクトル応答を決定づけることを、具体的モデルと定量計算により体系的に示したものである。申請者はまず、吸収で規格化した内部量子効率が粒子密度や角度条件に対して顕著に増強され、しかも吸収スペクトルとは一致しない共鳴構造を示すなど、古典電磁場計算では説明が難しい実験事実を整理し、HCGを「散逸」ではなく「コヒーレンスを伴うエネルギー変換過程」として扱う必要性を明確化した。ついで、(i) ナノ粒子集団におけるプラズモン間コヒーレンス、(ii) 単一金属ナノ構造におけるプラズモン励起と電子正孔対励起の間のコヒーレンス、という二つの階層を意識した理論枠組みを構築した。キャビティ一体型ナノディスク配列では、連続励起と減衰を伴う系の最小量子モデルを提示し、キャビティ媒介相互作用により有限の「コヒーレンス領域」が形成され、吸収総量が飽和してもエネルギーが有効生成サイトへ協同的に再分配される結果、見かけ（apparent）量子効率が粒子密度とともに増大し得ることを示した。さらに金属薄膜の全反射減衰法（ATR法）による励起系では、拡張Bohm-Pines理論に基づく微視的量子理論を整備し、吸収には目立った変化を与えない放射的結合成分が、内部量子効率の角度依存・スペクトル形状を質的に支配することを明確化して、吸収と量子効率の不整合という長年の“パズル”に統一的解釈を与えた。

以上の成果は、HCGをコヒーレンス駆動現象として理解する新しい枠組みを確立し、高効率HCGを志向したプラズモニック構造設計に具体的指針を与える。よって本論文は博士（理学）の学位論文として十分な価値を有すると認められる。