



領域代表者	東京工業大学・物質理工学院・准教授 三宮 工（さんのみや たくみ）	研究者番号:60610152
研究領域情報	領域番号：22B204 キーワード：透過電子顕微鏡、量子光学、カソードルミネセンス、電子エネルギー損失分光	研究期間：2022年度～2024年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

ナノ^{※1}空間への光の閉じ込め、すなわち回折限界^{※2}を超えたスケールで電磁波の局所状態密度^{※3}を制御することは、ナノ光デバイス実現の鍵となっている。ナノスケールに光を拘束することは、単に光デバイスが小型化するだけでなく、物質と光の相互作用を高めることにもつながる。物質と光の相互作用の向上により、エネルギー変換や発光増強、高感度なウイルスや抗体検出、超高速デバイスの応用が拓けると期待できる。このようなナノ光デバイスの開発・開拓には、光の回折限界をはるかに超えた空間分解能で光や電子、表面波準粒子の素励起状態密度を計測し、構造と直接対応させる解析手法が必要である。一方で、光の波長よりもはるかに小さいスケールで光を測定することは簡単ではない。

※1 ナノ： 10億分の1 ※2回折限界： 光の波長程度の大きさ～東京スカイツリーの10億分の1

※3 状態密度： 微小な空間・エネルギー範囲内におけるエネルギーを取り得る入れ物の数

本研究では、高速電子を用いることで、光の回折限界を超えた超分解能で「光」の計測を実現する。電子顕微鏡に代表されるように、高速電子線を用いることで、光では実現できないスケールの超高分解能イメージングが可能となる。光速の10～70%まで加速された高速電子は、ナノメートル分解能の光プローブとしても機能する。本領域研究は、高速電子線による光計測のトップランナーが各班の代表を務め、量子光計測・カソードルミネセンス・電子エネルギー損失分光を用いて、エネルギー変換において重要となる運動量計測や、LED等の発光デバイス中のキャリアダイナミクスの理解に必要な発光寿命計測を行う。超高分解能に加えて、「運動量」「エネルギー」「時間」等の多角的なパラメータを用いて、光機能の発現機構を理解し、ナノ光制御を実現する。

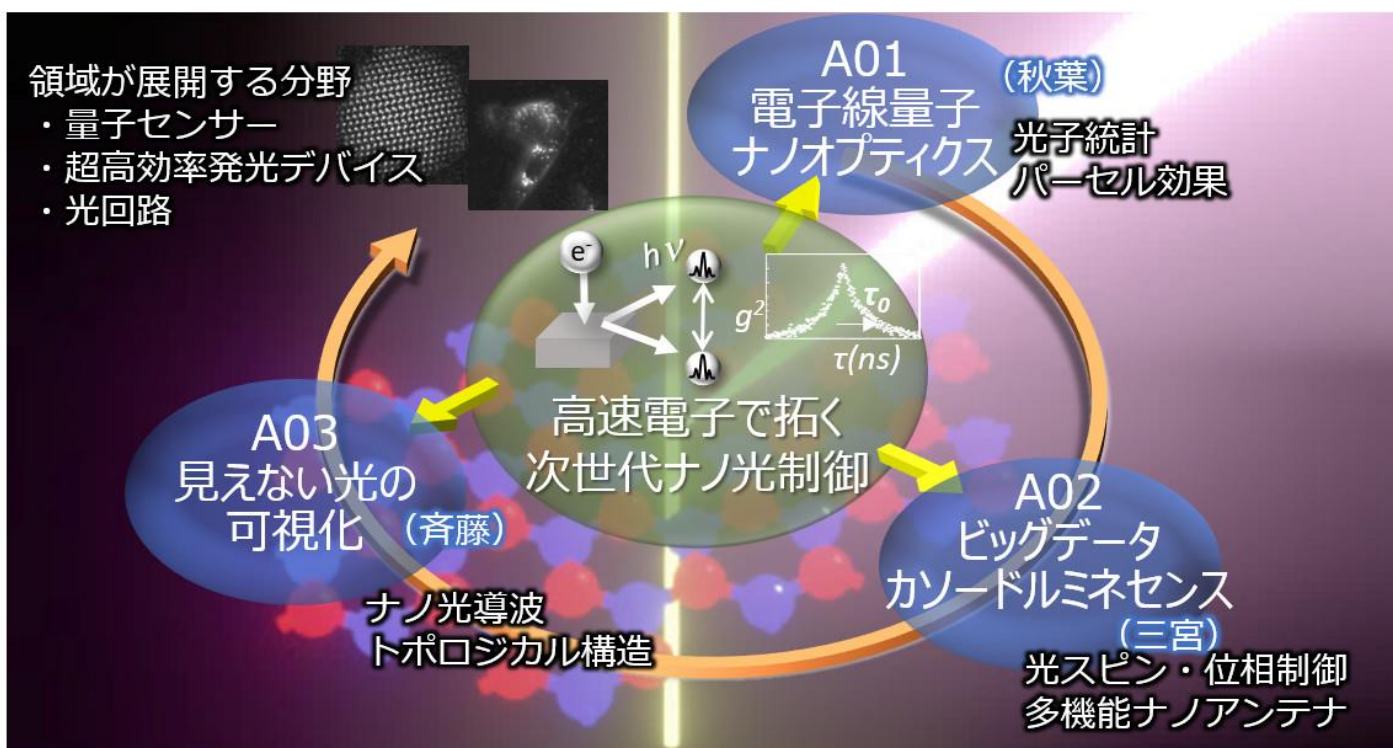


図1 領域のイメージ図

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

本領域では、現状のナノ光計測の空間分解能を1～2桁向上させ、多機能計測を実現することで、次世代光回路、光エネルギー変換、光センサー開発の基盤を創る。超高分解多機能光計測は、デバイス応用にとどまらず、生体メカニズム解明や材料解析など、幅広い分野で新たな情報を引き出す。本領域は、物質・生体機能を視覚化する新規な科学技術基盤である。以下の3つの研究チーム（テーマ）を軸に学術領域を進展させる

●電子線量子ナノオプティクス

代表： 秋葉圭一郎、 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所
量子機能創製研究センター 主幹研究員

分担： 弓削達郎、 静岡大学 理学部 物理学科 助教

電子線を用いたナノ光計測では困難であった時間分解を量子光学的手法を用いて可能とする。この手法では、自然放出された高速電子一つをパルス利用し、電子線励起発光光子が集群化する特異な性質を利用して100ps～1μsの時間分解が可能であり、LEDやLDに用いられる典型的な発光材料の寿命にマッチする。この新規な電子線時間分解計測法をさらに発展させ、ナノスケールでの物質と光の相互作用を量子性の観点も交え時間軸からアプローチする。

●ビッグデータカソードルミネセンス

代表： 三宮工、 東京工業大学 物質理工学院 准教授

これまでのナノスケール光計測では、空間2次元とエネルギー1次元、などせいぜい計3次元の情報の計測であり、得られる情報が限られてきたが、本研究では、最大5+2次元同時計測を実施する。得られるデータは数万枚の画像を同時取得し、そのビッグデータからポスト・プロセスにより必要情報を抽出する、すべての情報を拾い上げる全く新しいアプローチで、新規な材料機能を模索する。

●見えない光の可視化

代表： 斉藤光、 九州大学 先導物質化学研究所 准教授

これまでの光計測では、発光しない導波された光、光の吸収成分を直接取り出すことはできなかった。本領域では電子線励起の特徴を生かし、「発光しない光」を抽出・計測し、光学特性に寄与する電子状態計測を行う。電子エネルギー損失分光を用いて光ではアクセスできない導波される電磁波モードやライトライン(光の分散関係の)外側の分散関係を直接計測する。

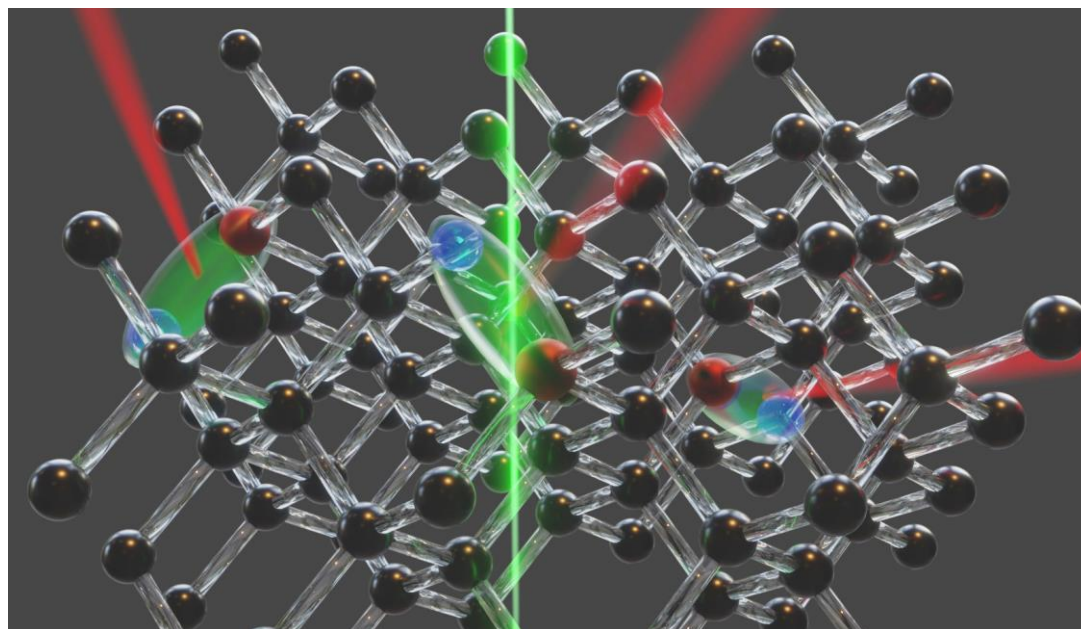


図2 ダイアモンドにおける窒素-空孔欠陥からのカソードルミネセンス（電子線励起発光）のイメージ図。