

4. 外国人特別研究員との共同研究の概要（外国人特別研究員との分担状況を明らかにした上で簡潔に記述してください。）

Summary of the collaborative research (Clarify your role and the Fellow's role in the collaborative research.)

Weng 氏が採用期間である 2 年間で行った共同研究の成果を簡潔に記述すると、パッシブ型テラヘルツ (THz) 近接場顕微鏡によって格子温度のみならず電子温度のナノスケール観測が可能であること、また他のプローブ顕微技術と比較し、パッシブ型 THz 近接場顕微鏡の優位性を実験的に証明したことが挙げられる。

有限温度において、全ての物質は正負電荷の集合(伝導電子、イオン格子など)から構成されているため、ミクロな相対運動によって時間変動するエバネッセント電磁場が発現する。金属や誘電体上の熱励起エバネッセント波については理論解析が進んでおり、強力なエバネッセント波が表面から 100 nm 程度まで存在すること、その主要スペクトルが THz 帯(特に波長 8~20 μm)に存在することが予測されている。受入研究者は、エバネッセント波をナノ分解能で検出可能なパッシブ型 THz 近接場顕微鏡を開発しており、常温の金属、誘電体における熱励起エバネッセント波の検出に成功している。本研究の目的は、パッシブ型 THz 近接場顕微鏡が真に新しく有効な計測手段であることを実証し、標準計測法として定着させることにある。そのための具体的な研究課題として「熱由来ではない、非平衡現象起因の THz エバネッセント波の検出・応用」を設定した。

非平衡現象観察の第一歩として、GaAs/AlGaAs 量子井戸における非平衡状態を観測した。具体的には、ナノスケールの量子井戸狭窄部を持つデバイスを作製し、狭窄部両端に電圧を印加することによって非平衡状態を作り出し、狭窄部をバリスティックに通過する電子キャリアの拡散やエネルギー損失など起因する発光観察を試みた。Weng 氏は採用前、受入研究員のパッシブ型 THz 近接場顕微鏡とほぼ同じ仕様の顕微鏡を、受入研究者のサポートのもと上海技術物理研究所に構築した。Weng 氏は採用前から GaAs/AlGaAs 量子井戸における非平衡状態観測実験を始めて基礎データを得ており、受入後は受入研究員の顕微鏡にて追加データを取得した。本結果においては、GaAs/AlGaAs 量子井戸二次元電子系上の狭窄部において、非平衡状態における近接場信号が観察され、詳細な解析の結果、信号がホットエレクトロンに起因することが判明した。本結果は、非平衡状態におけるホットエレクトロンを初めてナノスケール分解能で取得した結果となっており、2018 年の Science 誌に論文が掲載されるなど基礎物理学上非常にインパクトの高い仕事となった。

加えて、2017 年にはアクティブ型(外部光源利用型)近接場顕微鏡およびナノ温度顕微鏡と我々のパッシブ型近接場顕微鏡の本質的な比較実験を行った。ナノ温度顕微鏡とは、原子間力顕微鏡の探針先端に熱電対などの温度センサをとりつけた顕微鏡であり、ナノスケールの温度分布が検出可能な装置である。バイアスを印加した NiCr マイクロ配線や前述の GaAs/AlGaAs 量子井戸試料をアクティブ型近接場顕微鏡やナノ温度顕微鏡で測定した結果と、我々の顕微鏡で測定した結果を比較したところ、アクティブ型近接場顕微鏡では試料表面の誘電体分布しか測定できず、温度測定は困難であること、ナノ温度顕微鏡は、格子温度(一般的な温度)は測定できるものの、電子温度(ホットエレクトロンなど、過剰なエネルギー)は測定できないことなどが明らかとなった。我々のパッシブ型 THz 近接場顕微鏡では格子温度・電子温度ともにナノスケール分解能で検出可能であり、他のプローブ顕微技術と比較して非常にユニークな特徴を有することが実験的に証明された。

以上のように、Weng 氏は2年間の共同研究のなかで、パッシブ型 THz 近接場顕微鏡の本質的な特徴を実験的に示している。

5. 外国人特別研究員との共同研究の成果とその評価

Results and Evaluation of the collaborative research

前述のように、Weng 氏との共同研究の成果を簡潔に記述すると、パッシブ型 THz 近接場顕微鏡によって格子温度のみならず電子温度のナノスケール観測が可能であること、また他のプローブ顕微技術と比較し、パッシブ型 THz 近接場顕微鏡の優位性を実験的に証明したことが挙げられる。

非平衡状態における電子温度のナノスケール観測に関する結果は、Science 誌(Qianchun Weng, et al., Imaging of nonlocal hot-electron energy dissipation via shot noise, Science, 360 (2018) 775-778.)に掲載されたほか、2017, 2018 年の赤外・テラヘルツ国際会議(IRMMW-THz)においてキーノートスピーカーとして招待されるなど、テラヘルツ及び基礎物理実験における業界において仕事が非常に高く評価されている。また、当該結果に付随して、熱雑音をナノスケール分解能で測定・解析し、Nano Letters(Qianchun Weng, et al., Near-field Radiative Nanothermal Imaging of Nonuniform Joule Heating in Narrow Metal Wires, Nano. Lett. 18, (2018) 4220-4225.)に成果が掲載されている。上記の論文掲載・招待講演のほか、二次元電子系国際会議よや応用物理学会など様々な学会で講演を行っている。

上記のように、Weng 氏は 2 年間で大変顕著な成果を上げており、今後の研究展開に非常に大きな期待を持てる。

注. 必ず様式 7 及び様式 8 を併せて**採用期間終了後 1 か月以内**に提出してください。外国人特別研究員本人には様式 7 (Form 7: Research Report) により英語又は日本語で作成いただきます。

Note: This form must be submitted along with the Fellow's Form 7 within one month of the end of the fellowship tenure.