

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名：半導体量子構造の探索とテラヘルツ波計測技術探索

2. 研究代表者：小宮山 進（東京大学大学院総合文化研究科 教授）

3. 研究概要

従来感度の高い検知器が存在しなかった波長 8 から 100 μm の赤外～テラヘルツ (THz) 領域で、超高感度を有し、かつ簡便に使用できて広範な応用に適する検出器を開発すること、およびそれを用いた超高感度かつ高空間分解能のパッシブ (対象物からの自然放射を観測する) THz 顕微鏡を開拓することを目標とする。

具体的には当研究グループの独自の発想に基づく電荷敏感型赤外検知器 (CSIP) をガリウム砒素系半導体量子井戸で実現し、その特性を向上させる。

さらに、長波長への感度範囲拡大、アレー化による2次元検知器の試作、近接場パッシブ顕微鏡の開発へ進み、物質現象、生体現象、天文観測への応用に向けて展開する。

4. 中間報告結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

感度の良い検知器が得がたい赤外領域で、従来より 2 桁以上感度の高い (D^* の大きい) 検知器 (CSIP) を開発した意義は大きい。(注: D^* は noise equivalent power (NEP) の逆数に比例する量で、周波数に依存する係数がつく。NEP は S/N が 1 になるときの光入力パワー。 D^* が大きいほどよい検知器) CREST 開始直後に、リセット信号による飛躍的なダイナミックレンジの拡大に成功し、さらに電極を分割して電場を平均化することにより信号電流を 4 倍増加させるなど改良を重ね、高精度の測定が可能になった。量子効率が 1% 程度と低いことがこの検知器の短所であったが、検知器表面に特殊なパターンをもつ金属メッシュを設置することにより量子効率の改善 (7% 程度に向上) にも成功した。このように着実に検知器としてのパフォーマンスを向上させている点は高く評価できる。

ごく最近、AFM の探針による近接場を使ったパッシブ顕微鏡を用いた、Au/Si ストライプの観察で、波長 (14 μm) より遥かに小さい 200nm までの空間分解を確認した。

宇宙科学への応用に必要な長波長化を目指して 45 μm 帯素子を試作し、微弱ながら感度の確認ができた。アレー化は、良質の基盤調達に手間取ったこともあって、あまり進展していないが、後半での進展が期待できる。

次期 SPICA 計画に間に合うかどうかは微妙であるが、少なくとも宇宙科学応用への潜在的可能性については国際的にも認知され始めており、CREST の終了後にでも人工衛星搭載が決定すれば素晴らしい。

4-2. 今後の研究に向けて

CSIP は極めて独創性が高く、波長領域など現状ではいくつかの制約はあるものの、これからの改良によって解決される可能性があり、従来型の検知器より遥に感度が高いことは事実なので、完成度を高めていけば実用的な応用など波及効果も含めて大きな成果が期待できるであろう。現在 20×20 のアレーを開発中であるが、研究室での大規模アレーの開発は歩留まりなどの関係で難しいので 5×5 程度のもを開発して原理実証にとどめるという選択肢もあるだろう。それでも十分に価値はあると考えられる。長波長化は望ましい方向であるが、キャリアの取り出し方式などにもうひとつブレークスルーを開く必要がある。

4-3. 総合評価

現在までの開発作業は順調に推移しており、論文や特許も着実に出ています。期間内に長波長化やアレー化が進み、完成度が高まれば CREST の成果として高く評価できるものになるであろう。

近接場利用のパッシブ顕微鏡を用いた観察で、波長より 2 桁程度小さい 200nm の空間分解能が得られるこ

とを示すデータが披露されたが、これは約 3 年前に Wilde ら(*nature* 誌)によって示された Au/SiC における空間分解能より 1 桁高く、測定温度も彼らの 170° C より遥かに低い室温であり、感度と分解能でかなり先行したと見てよい。空間分解能が何で決まっているのか、Au/Si という系に特有のものなのか、一般性があるものなのか、更なる検証が必要と思われる。逆に予想外に高い分解能が得られた原因の中に新しい物理が潜んでいる可能性もあるので興味深い。パッシブ顕微鏡の最終的な応用目標である物性、生物への適用はこれからであるが、桁違いの性能を持った技術による意外性のある展開に期待している。