

4P061

## 金ナノ粒子修飾半導体光電変換素子における局所的相互作用の 近接場光学イメージングによる研究

(分子研<sup>1</sup>、早大先進理工<sup>2</sup>、JST さきがけ<sup>3</sup>、北大電子研<sup>4</sup>、ローム株式会社<sup>5</sup>)

○原田 洋介<sup>1</sup>、井村 考平<sup>2,3</sup>、岡本 裕巳<sup>1</sup>、西島 喜明<sup>4</sup>、上野 貢生<sup>4</sup>、三澤 弘明<sup>4</sup>、  
長瀬 和也<sup>5</sup>、大西 大<sup>5</sup>

【序】金属ナノ粒子の表面プラズモン共鳴(SPR)を利用した、半導体光電変換素子の効率化の試みが、近年盛んになってきている。実際に、半導体受光面に配置した金属ナノ粒子の SPR によって光電変換効率を向上させることができたとする報告例も見られる。しかし、これらはファーフィールド照射下での実験によっており、得られた結果は多数のナノ粒子による効果を平均化したもので、空間的に局所的かつ粒子の形状に大きく依存する現象である SPR の効果を正しく捉えているとは言い難い。SPR による光電変換効率の増強機構には、未だ不明な点が多いというのが実状である。

このような素子の光電変換効率のナノスケールでの位置依存性を観察できれば、局所的な光電流の変化と素子のナノ構造とを関連付けることで、SPR が光電変換過程に与える効果について、重要な情報が得られるはずである。そこで我々は、高い空間分解能を有する近接場光学顕微鏡をこの系に適用することを考えた。本研究では、受光材としてガリウムヒ素(GaAs)を用いたフォトダイオードの受光面表面に金ナノ粒子を分散した系を対象とし、近接場光学顕微鏡を用いて光電流イメージングを行い、SPR と光電変換効率との相関について、ナノ粒子のサイズ・形状依存性や照射波長特性等から明らかにすることを目的とした。

【実験】ローム社にて試作した GaAs フォトダイオード(ジャンクション深さ 50 nm)の受光面表面に金ナノ粒子のコロイド溶液を展開し、乾燥した後、微粒子の固定のためポリビニルアルコール(PVA)をスピコートしたものを試料とした(図1)。球状金ナノ微粒子については市販のものを、その他のナノ粒子については既報の方法で化学的に合成したものをを用いた。

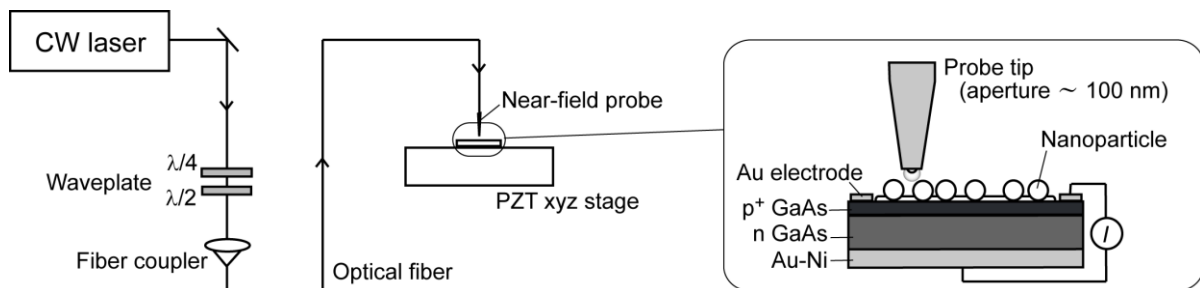


図1 近接場光電流イメージング・実験装置の概略図。

本研究に用いた近接場光学顕微鏡は開口型ファイバースコープ(開口径 100 nm 前後)を使用したもので、空間分解能はプローブの開口径程度である。プローブと試料表面の距離はシアフォース法によって制御し、その制御信号から試料の表面形態像を得た。駆動系には閉回路ピエゾステージを用いている。光源には連続発振レーザー( $\lambda = 532, 633, 785$  nm)を用いた。プローブ開口部から空間選択的に試料を光照射し、この時フォトダイオードに流れる光電流を測定しながら試料を走査することで、光電流励起イメージを得た。

【結果と考察】図1に、球状金ナノ微粒子(直径 100 nm)を分散した GaAs フォトダイオード受光面の近接場光電流イメージを示す。局所的な光電変換効率の変化をナノスケールで観測できていること、またその変化が照射波長に依存していることが見て取れる。直径 100 nm の球状金ナノ微粒子の場合、530 nm 付近に極大を持つプラズモンバンドが存在するが、その近傍の 532 nm で照射した場合、球状金ナノ微粒子の位置では光電流の減少が観測された(図2(a))。照射波長 633 nm の場合でも同様に光電流の減少が見られた(図2(b))。これは、金ナノ粒子の吸収・散乱により、GaAs 受光面に到達する光子数が減少したためと考えられる。対して、照射波長 785 nm では光電流の増加が観測された(図2(c))。これは、近接場プローブ開口部に局在する近接場光が、SPR を誘起された金ナノ粒子の再放出によって取り出される<sup>[1]</sup>ことに起因すると考えられる。

異なる形状の金ナノ粒子、あるいはナノ粒子の集積体についても同様の実験を行っており、発表当日はこれらの実験結果を示しながら、SPR と光電変換効率との相関について、詳細に議論する予定である。

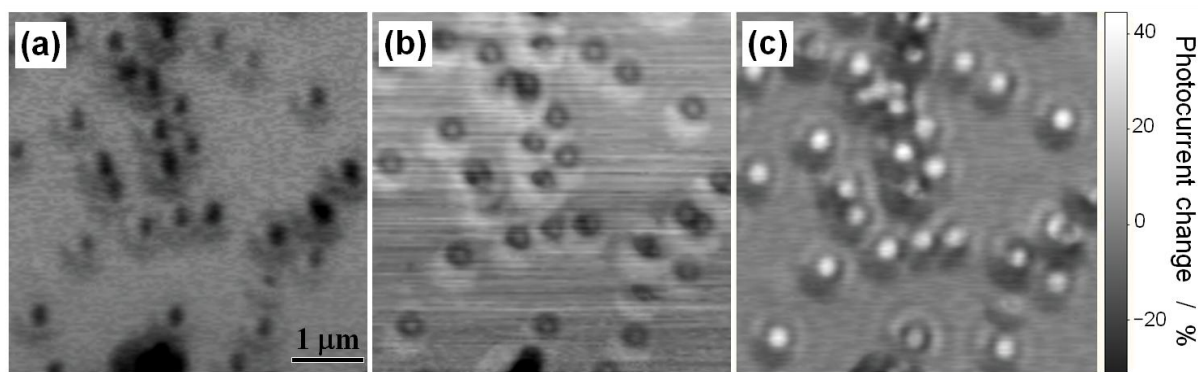


図2 球状金ナノ微粒子(直径 100 nm)を分散した GaAs フォトダイオード受光面の近接場光電流イメージ。照射波長;(a) 532 nm、(b) 633 nm、(c) 785 nm。

[1] K. Imura, T. Nagahara, H. Okamoto, *Chem. Phys. Lett.* **400**, 500-505 (2004); H. Okamoto, K. Imura, *Prog. Surf. Sci.* **84**, 199-229 (2009).