

13. 光近接場の実験解析と超解像観測

浮田 宏生

13.1 光近接場観測用プローブの比較

微細な構造に光を照射すると、構造に応じて励起されたエバネッセント光が表面近傍に局在する。このエバネッセント光の中に微小散乱体（プローブ）を挿入すると、一部が伝搬光に変換されて観測が可能になる。近接場を正確に観測するにはプローブの散乱特性を理解する必要がある。まず各種プローブを比較検討し、次に各種プローブで光近接場の超解像観測を試みる。

表1 プローブの種類による SNOM の特性

プローブ特性	光ファイバ	金属探針	光ピンセット球
再現性	△	△	○
分解能	△	○	○
SN比	△	○	○
距離制御	△	△	◎
光記録	○	△	×

光ファイバプローブは、金属膜がコーティングされた先細ファイバ先端の直径 100nm 程度の開口からエバネッセント光を発生する。このプローブ先端を試料に近接し、エバネッセント光が試料表面で散乱され、その散乱光を同じ光ファイバで補足・伝搬して他端の光検出器に導入する。このため、迷光の影響を受けにく

い特徴がある。このローブの開口は、コーティングした金属の表皮厚さ(skin depth)の制限を受ける。アルミニウムの場合の最小開口直径は 48 nm になる。

金属探針は、試料表面に局在するエバネッセント光を散乱して伝搬光に変換し、外部光学系により検知する。アパーチャレスプローブは、先端をいくらでも細くできるので分解能が高い、開口プローブに比べて作製が容易、導波路系がないので広いスペクトル範囲で計測が可能などの特徴がある。また、金属針は電場増強効果があるので高感度である。しかし、散乱光以外の迷光を十分に除去しなければならない。

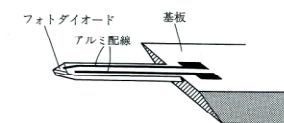
走査方法には高さ一定の「コンスタントハイトモード」、プローブと試料間の距離一定の「コンスタントディスタンスモード」があり、ナノメートルスケールの距離制御が必要で、走査トンネル顕微鏡 (STM) や原子間力顕微鏡 (AFM) と同じ制御技術を利用する。

光ピンセットプローブは、光捕捉した微粒子をプローブとする。捕捉用とは異なる波長のレーザーを微粒子に照射しながら試料表面を走査する。このとき、微小球プローブ周辺には試料表面に応じた局所的表面プラズモンが励起され、散乱光強度が変化を対物レンズ

で集光し光検出器に導く。

光ピンセットプローブの捕捉力は、pN 程度で極めて微弱で、接触による試料損傷がないので生体試料の観察に適している(プローブを試料表面に接触させて使用可)。しかし、散乱光は試料表面の光学特性、物理化学特性、機械特性、表面形状などに依存する。このため、これらの効果を分離する必要がある。

13.2 エバネッセント光の強度分布 (フォトカンチレバー)



フォトカンチレバー概略図

図 1

・平井仁貴, 岩見秀雄, 浮田宏生: フォトカンチレバーによる光ディスク案内溝の画像化, 平成 14 年電気関係学会関西支部連合大会, G9-2, p.G236, 2002.

13.3 相変化マークの光記録と再生 (光ファイバー)

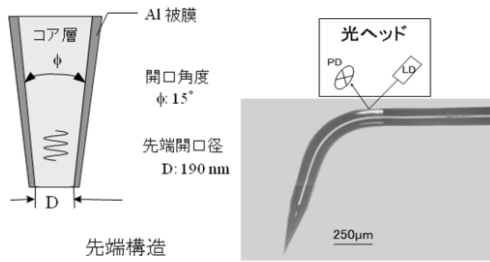


図2 光ファイバプローブ

- ・LD集光照明
- ・振動プローブとロッキングアンプによる迷光の除去

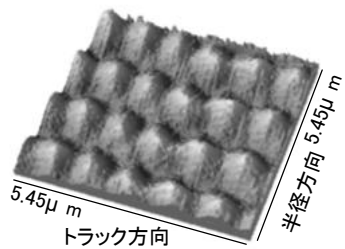


図3 濃淡画像(マーク長 $0.4 \mu\text{m}$)

- ・ 田中智彰, 奥谷真哉, 浮田宏生: ベント型光ファイバーによる相変化記録マークの観測と分解能, 平成 18 年電気関係学会関西支部連合大会, G9-14, p. G238, 2006.

134 屈折率グレーティング (光ピンセット球)

<実験>

光ピンセットされた微小球は寸法がそろっているので測定の再現性に優れている. ここでは, 石英系導波路(PLC: Planar Lightwaveguide Circuit)の上に形成されたグレーティングの屈折率変化を観測する.

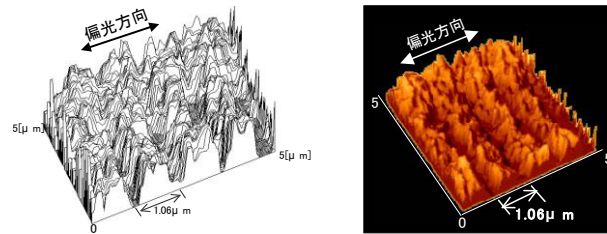


図3 (a) 光強度分布 (b) 3次元イメージ像 (p 偏光)

図3(a)は, 照明用 Ar^+ レーザーが p 偏光の場合の, グレーティング表面の直径 100nm 金微粒子からの散乱光観測結果である. 図(b)は, 散乱光強度を濃淡画像化したもので, いずれにも, 金微粒子のブラウン運動に起因する出力揺らぎが残っているが, 回折限界を超えた測定が可能になることがわかる. これは Ar^+ レーザー照射により, 金微粒子には試料との相互作用で表面プラズモンが誘起され, 表面物性の変化に応じて散乱光が変化したためである.

- ・ H. Ukita, H. Uemi and A. Hirata: Near Field Observation of a Refractive Index Grating and a Topographical Grating by an Optically-Trapped Gold Particle, Opt. Rev., **11**, pp.356-369, 2004.

<理論>

集光光で近接場光を解析し, サンプル表面からの散乱光を対物レンズで捕捉して SNOM 信号を得る.

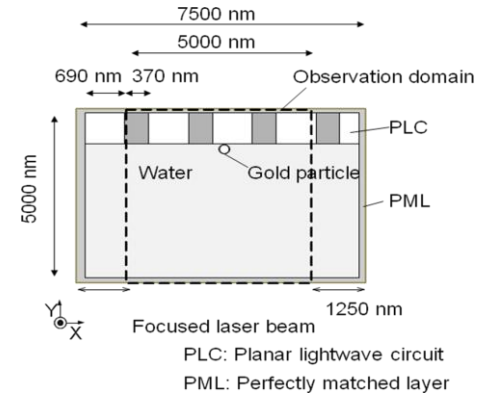


図4 SNOM の解析モデル

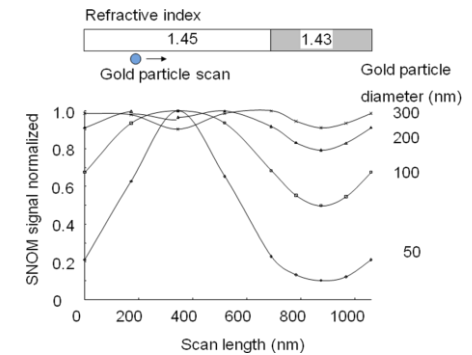


図5 SNOM 信号

- ・ R. Yotsutani and H. Ukita: FDTD Analysis of Refractive Index Grating on Planar Light Waveguide Circuit with Optically Trapped Gold Particles, Optical Review **17**, 1, 2010