

微小集積化プローブを用いた近接場光学顕微鏡

福澤 健二・田中百合子・桑野 博喜

アパーチャーレス型近接場走査型光学顕微鏡 (NSOM) の研究が、近年盛んに行われている。アパーチャーレス型 NSOM では、原子間力顕微鏡 (AFM) あるいは走査型トンネル顕微鏡 (STM) で用いられる先端の尖った探針を近接場の中に入れ、探針先端からの散乱光を測定している例が多い¹⁻³⁾。アパーチャーレス型のプローブは、開口型のプローブに比べ壊れにくい、あるいは AFM と同様の探針・試料間の間隙制御技術がそのまま使えるといったメリットがある。しかしながら、実際の実験系では、作動距離の関係上、探針先端からの散乱光を集光するためのレンズに大きな開口数のものを選ぶことができず、散乱光の集光効率を向上させるのが難しいというデメリットがある。本稿では、集光効率向上を目的として筆者らが提案した新しい構造のプローブとそれを用いた NSOM を述べる。

1. 光検出器一体型の集積化プローブ：フォトカンチレバー

マイクロマシーニングは、半導体微細加工技術をベースにしたマイクロメーターオーダーの構造物を作製する加工技術で、従来の加工技術では作製の困難であった微小な構造物を作製できる。筆者らは、マイクロマシーニング技術を用いて、先端に p-n 接合型のフォトダイオードを設けたカンチレバーを作製した⁴⁻⁶⁾。図 1 に、プローブの構造を示す。このカンチレバーを photosensitive cantilever という意味でフォトカンチレバー (photocantilever) と呼んでいる。光検出器を散乱体に非常に近接して配置しているため、外部に検出器を配置した場合に比べ、集光効率を高めることができる。カンチレバーはシリコン単結晶からなり、フォトダイオードの面積は $100 \mu\text{m}^2$ 程度で、バネ定数は約 0.2 N/m である。通常の AFM 用カンチレバーに比べ長いのは、光を十分に吸収するため厚さを厚くしたためである。また、半導体素子作製と同様の作製技術を用いているの

で、1回の工程で、異なる形状・サイズのカンチレバーを同一基板内に作製することが可能である。通常の半導体素子作製法により p-n 接合部・アルミ配線部を作製後、カンチレバー形状をドライエッチングして作製し、異方性化学エッチングを用いてカンチレバーの下のシリコン基板を除去し、free-standing 状態のカンチレバーを得る⁴⁾。また、散乱体として突起状の探針をカンチレバー先端部に作製することも可能である⁷⁾。

2. フォトカンチレバーによる近接場光学・原子間力同時観測装置

図 2 に、フォトカンチレバーを用いた NSOM の観測系を示す。基本的にはフォトン走査型トンネル顕微鏡 (PSTM) のファイバー・プローブの部分をもフォトカンチレバーで置き換えた配置である。試料近傍のエバネセント光をカンチレバーの先端部あるいは探針先端で伝搬光に変換し、カンチレバーに作製したフォトダイオード

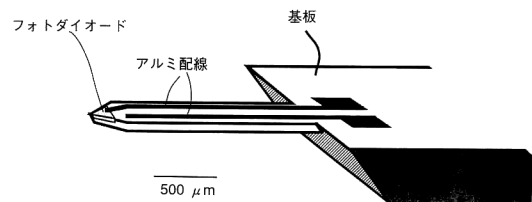


図1 フォトカンチレバーの構造。

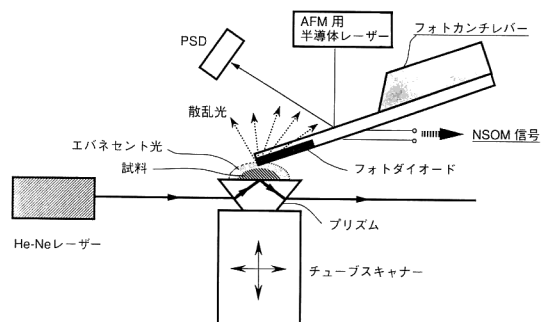


図2 フォトカンチレバーを用いた NSOM/AFM 同時観測装置。

NTT 入出力システム研究所 (〒180 武蔵野市緑町 3-9-11, NTT R&D センター 8-210)
E-mail: fukuzawa@ilab.ntt.co.jp

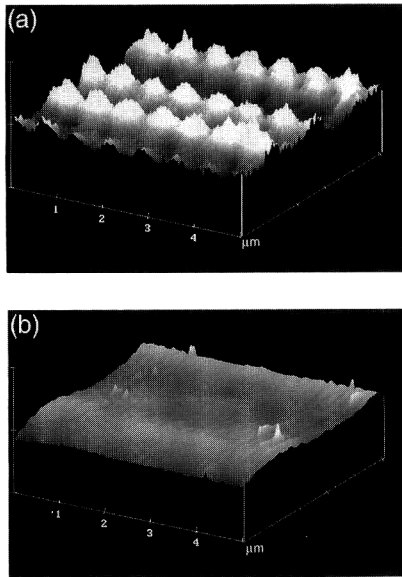


図3 相変化光ディスク上に記録したピットの観測結果。(a) NSOM像, (b) AFM像。

でエバネセント光強度を検出する。この検出過程について、光のトンネリングにより試料からカンチレバーへ透過した光をフォトダイオードが検出するのでなく、カンチレバー先端でいったん散乱光に変換された光を検出することが確認されている⁹⁾。AFMと同様の光てこ法によりプローブと試料間の間隔制御を行う。フォトカンチレバーの形状はAFM用カンチレバーと同様なので、AFM装置に大きな改造を加えないでもそのまま使用できる。本観測系では、NSOM信号とAFM信号を同時に得ることができるので、光学像と凹凸像が同時に得られる。レーザーは、2 mWのHe-Neレーザー（波長633 nm）を用い、レーザーの入射角は 71° とした。この角度でのエバネセント光の鉛直方向の減衰長は約50 nmである。

図3は、相変化光ディスク上に記録したピットを観測したものである。力一定のコンタクトAFMモードで行った。記録ピット部はアモルファス状態であり、それ以外の部分は結晶状態となっている。この相の違いにより、ピット部の屈折率は $4.9+1.4i$ であり、それ以外は $5.7+3.4i$ である。ピットは溝のない平滑な部分に記録

したので、形状的には平らな面に屈折率分布が存在する。NSOM観測により記録ピットが明瞭に可視化できていることがわかる。これに対して、AFM像は形状的に平坦であることを示している。この結果は、フォトカンチレバーを用いたNSMにより屈折率分布が可視化できることを示している。また、数十nm程度の分解能を示唆するデータも得られている⁹⁾。最近、近接場における双極子-双極子結合を利用したさらなる高分解能化の可能性を示唆する結果も得られている⁸⁾。

本稿では、マイクロマシーニング技術を用いた集積化したNSOM用プローブとそれを用いた観測装置について紹介した。フォトカンチレバーは、検出効率が高く量産化に向くため、実用的なアパーチャーレス型NSOM用プローブとして有望であると考えられる。

文 献

- 1) N. F. van Hulst, M. H. P. Moers, O. F. J. Noordman, R. G. Tack, F. B. Segerink and B. Bolger: "Near-field optical microscope using a silicon-nitride probe," *Appl. Phys. Lett.*, **62** (1993) 461.
- 2) Y. Inouye and S. Kawata: "Near-field scanning optical microscope with a metallic probe tip," *Opt. Lett.*, **19** (1994) 159.
- 3) F. Zenhausern, Y. Martin and H. K. Wickramasinghe: "Scanning interferometric apertureless microscopy: optical imaging at 10 angstrom resolution," *Science*, **269** (1995) 1083.
- 4) S. Akamine, H. Kuwano and H. Yamada: "Scanning near-field optical microscope using an atomic force microscope cantilever with integrated photodiode," *Appl. Phys. Lett.*, **68** (1996) 579.
- 5) K. Fukuzawa, Y. Tanaka, S. Akamine, H. Kuwano and H. Yamada: "Imaging of optical and topographical distributions by simultaneous near-field scanning optical/atomic force microscopy with a microfabricated photocantilever," *J. Appl. Phys.*, **78** (1995) 7376.
- 6) K. Fukuzawa and H. Kuwano: "Conversion of evanescent into propagating light in near-field scanning optical microscopy," *J. Appl. Phys.*, **79** (1996) 8174.
- 7) 田中百合子, 福澤健二, 桑野博喜: "散乱型近接場光学顕微鏡における探針形状の最適化", 第43回応用物理学関係連合講演会, 27 a-Z-5 (1996).
- 8) K. Fukuzawa and Y. Tanaka: "Apertureless near-field optical microscopy with differential and close-proximity detection," to be published in *Appl. Phys. Lett.* **71** (1997) 169.

(1997年5月23日受理)