

# 最近の技術から

## 走査型ウィナー縞光学顕微鏡

梅田 倫弘・高柳 淳夫

東京農工大学工学部 〒184 小金井市中町 2-24-16

### 1. はじめに

シリコンの  $7 \times 7$  原子再配列構造が鮮明に観測されて一躍脚光を浴びた走査型トンネル顕微鏡 (STM) が出現して以来, STM に類似した新しい顕微鏡: 走査型プローブ顕微鏡 (SPM) が注目を集めている<sup>1)</sup>. SPM においてはプローブと試料に働くさまざまな相互作用 (例えば原子間力, 磁力, 静電力, 熱, 音響波, 光波 (光子)) によってプローブ先端曲率やプローブ開口の大きさ程度の横分解能を持つ試料表面構造や相互作用に応じた試料表面分布が得られている. とくに光波の場合, 非接触, 無侵襲, 高感度, 高精度といった特徴をもつため種々の試料, 例えば生物試料をそのまま高分解に観測できる可能性がある. そこで光波の回折限界を超える横分解能を得ようとする超解像顕微鏡の研究の中でも, 微小プローブを用いて近接場を走査する顕微鏡の研究が STM の登場によって大きく進展している.

ここでは, われわれが開発した試料表面近傍にできるウィナー縞を利用した走査型ウィナー縞光学顕微鏡 (SWM) の原理, 特性, および観測例を紹介する<sup>2)</sup>.

### 2. ウィナー縞の生成

図1のように滑らかな平面に波長  $\lambda$  の光波が角度  $\theta$  で入射するとき, 入射光と反射光が重なる部分について考える. 入射面の法線方向に伝搬する光波は入射光と伝搬方向が逆の反射光の重ね合わせとなり, したがって, 法線方向には定在波が生じる. 一方, 平面の面内方向には入射, 反射光とも同一方向の進行波となっている. したがって, 時間平均をとった場合, 平面の面内方向に一樣で平行な等間隔な縞が観測される. このような定在波は1890年にウィナーによって実験的に確認され, この現象を用いて銀塩の黒化が光の電界成分によることを実証している<sup>3)</sup>.

われわれは, 100年前に確認されたこの現象を現代の装置と技術によって再現させることを試みた. すなわち, ファイバーを先細にしたファイバー探針を直接, 平

面鏡への入射光と反射光が重なる空間に挿入してウィナー縞の検出を試みた結果, 平面鏡に平行な方向に一樣でその法線方向に正弦的に変化する光の強度場が平面鏡近傍に存在することがわかった. ウィナー縞の等位相面は反射面に平行に形成されるので, もし反射面が平面ではなく光の波長よりも小さな凹凸がある場合, その面近傍のウィナー縞の等位相面も表面形状に応じて変形される. そこで, ファイバー探針によってウィナー縞を検出して, その強度が一定となるようにファイバー探針を位置制御すれば表面形状を得ることができると考えられる.

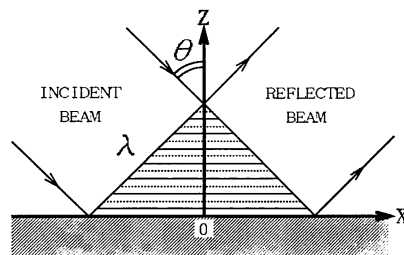


図1 ウィナー縞の形成

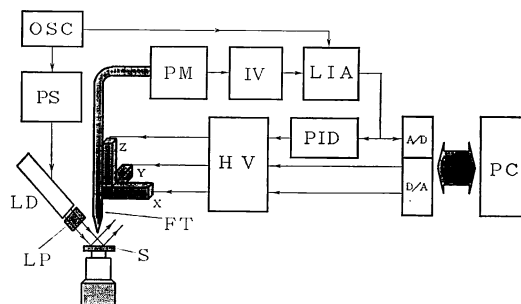


図2 走査型ウィナー縞顕微鏡 (SWM) の装置構成. OSC: 発振器, PS: 電源, LD: 半導体レーザー, LP: 直線偏光子, S: 試料, FT: ファイバー探針, PM: 光電子増倍管, IV: 電流電圧変換器, LIA: ロックインアンプ, PID: フィードバック回路, HV: 高電圧増幅器, PC: パーソナルコンピュータ.

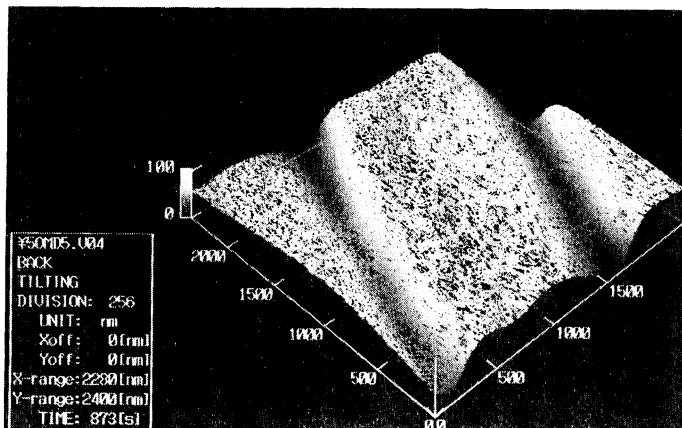


図3 ポリカーボネイト製光磁気ディスク案内溝のSWM観測像(単位: nm)

### 3. 実験装置と観測例

図2に試作したSWM装置の構成を示す。試料面近傍にウィナー縞を形成させるために、強度変調された半導体レーザーLD ( $\lambda=780\text{ nm}$ ) を、レンズによって試料面に集束させながら試料に対し60度で入射させる。ウィナー縞を検出するための探針FTは、コア径 $10\text{ }\mu\text{m}$ の単一モード石英ファイバーをバーナで熔融・引き延ばして製作した。ファイバー先端は、HF溶液に2~3時間浸漬してエッチングした。このようにして得られた探針の先端曲率半径は $100\text{ nm}$ である。ファイバー探針をトライポッド型PZT圧電素子に取り付け3次的に走査させる。ファイバー探針でピックアップされた光は、光電子増倍管PMで受光され、電圧変換されてロックインアンプLIAに入力する。その出力は、フィードバック回路PIDを経由して $z$ 軸PZTに帰還される。また、その誤差信号はAD変換されて試料表面の高さ情報としてパーソナルコンピュータPCに取り込まれる。 $x, y$ 軸PZTに加えられた2次元ラスタ走査信号と誤差信号とを組み合わせると試料表面の3次元数値データが構築され、表面トポグラフィ像がCRTディスプレイ上に表示される。

この装置を用いて構造の知られた試料を観測した。フィードバック回路の動作点には、探針の $z$ 方向への移動に対しウィナー縞の信号強度が直線的に変化する部分の一つを選んだ。図3はポリカーボネイト製光磁気ディス

ク基盤の表面観測像である。この表面には読み書きヘッドのトラッキングのための案内溝が刻線されており、その寸法は溝幅 $400\text{ nm}$ 、深さ $100\text{ nm}$ 、溝ピッチ $1.6\text{ }\mu\text{m}$ である。観測像からほぼ同じ寸法の溝を観測できていることがわかる。しかし、溝と溝の間にも $10\text{ nm}$ 程度のへこみが観測されており、これは表面上の構造ではなく入射光の散乱もしくは回折による影響と考えられる。

### 4. ま と め

試料表面近傍に形成されるウィナー縞を用いた走査型光学顕微鏡を考案し、その原理、特性、観測例を紹介した。これまでに種々の試料を観測した結果から、縦分解能は $4\text{ nm}$ 、横分解能は $80\text{ nm}$ 程度と推定される<sup>4)</sup>。SWMは試料面近傍に形成される複数次のウィナー縞の一つを利用しているため、追従制御する縞次数を選ぶことで、従来の光学式近接場顕微鏡に比べて作動距離を長く設定できる特徴を持つ。

### 文 献

- 1) H. K. Wickramasinghe: "Scanning probe microscope: Current status and future trends," J. Vac. Sci. Technol., A 8 (1990) 363.
- 2) N. Umeda, Y. Hayashi, K. Nagai and A. Takayanagi: "Scanning Wiener-fringe microscope with an optical fiber tip," Appl. Opt., 31 (1992) 4515.
- 3) M. Born and E. Wolf: *Principles of Optics* (Pergamon Press, Oxford, 1974) p. 277.
- 4) 高柳淳夫, 大久保友男, 厚美憲作, 梅田倫弘: 第53回応用物理学学術講演会予稿集, 18 aSP 28 (1992) p. 831.

(1992年6月30日受理)