

研究課題名 高輝度近接場光プローブの開発と全反射光制御方法  
所属研究機関名 独立行政法人 産業技術総合研究所  
研究者氏名 山本 典孝

## 研究計画の概要

### 研究の趣旨・目的

近接場光学は基礎研究分野において目覚ましい結果を挙げ、注目されている技術ではあるが、まだ産業的な応用の道が開かれてはいない。高密度記憶の分野では、ハードディスクのメモリー容量がここ数年、倍々の伸びを示しており、IT革命による高速通信の大容量化のため、容量の小さな記録メディアはその存在が危ぶまれている。そのような状況下で光記録の優位性・利便性が薄れつつあり、今の時期に次世代光記録の方式を提案する必要がある。光技術発展のためにも楽観視できない状況である。

従来の開口型近接場光学顕微鏡の場合、プローブ内部の光スルーポットが小さいために利用できる光量が少なく、測定におけるS/Nが問題であった。さらに光ファイバー等で作製されたプローブは、細くて折れやすく操作は非常に煩雑であり、システムを小さく作るとうる目的には適さない。また異なる波長の光を利用したい場合、ファイバーには透過できる光のカットオフ波長があるためそれに適した部材でプローブを作る必要があった。走査型プローブ顕微鏡技術全般に言えることではあるが、小さな針先で材料の検査や加工を行うため高速化が苦手であり、産業応用を目標としたツールとしては限られたものとなっている。

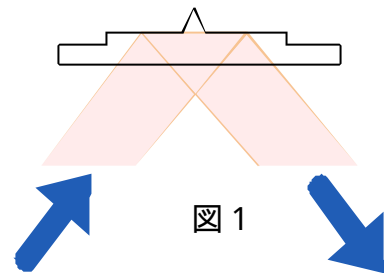
以上に挙げたような問題から、近年、半導体技術の発展により近接場光プローブもチップ化・アレイ化しようとする動きがありいくつかのグループが取り組んでいる。しかしながら開口特性や計測における背景光の問題などがあり、新しい技術として取って代わる方法には至っていない。

本提案では、従来と異なる形態・機能を有する近接場光学プローブおよび走査型プローブシステムの構築を目指し、光利用効率の高い近接場光プローブの開発とその評価を行う。光利用効率の高い近接場光学プローブという特徴を生かし、高速・高密度光記録の応用研究を行う。

### 研究計画の概要

図1に本テーマで提案する微小突起光プローブを示す。オプティカルフラットなガラス基板上に微小突起を形成し、このプローブの背面からレーザー光を全反射角度で導入することによりプローブ部材表面に近接場光(エバネッセント波)を生じさせる。その際、微小突起部では光の場が乱され、試料の接近により散乱光に変換されるためこれを局在プローブとして用いることができる。この方法の利点は誘電体界面を利用しているために背景光の影響を少なくすることができ、光を導波路にカップリングするなどの操作が不要で、扱い易くなることである。また用いるプローブの開発に関しては、汎用性のポリマーを材料とすることを考えている。これは加工性・量産性からメリットがあり、プローブ作製方法としてはシリコンプロセスで作製したナノスケールの型からポリマーに転写して作製する。この方法はプローブをアレイ状にすることで、同時測定(高速化・効率化)も可能となるためである。

本研究で用いられる走査型プローブ顕微鏡のプローブ技術などはすでに特許出願済みである  
[特開 2003-14609 微小領域散乱プローブおよび微小領域散乱プローブの距離制御方法]。



研究計画の詳細報告

(単位:百万円)

研究項目	所要経費		
	13年度	14年度	合計
1. 極微小突起による超解像化技術の研究 (1)プローブの試作・量産技術	6.0	3.0	9.0
2. プローブ位置制御機構の開発 (1)光学系の作製・改良	2.6	0	2.6
3. 光ディスク応用技術の研究 (1)有機材料	0.8	0.4	1.2
所要経費(合計) (間接経費を含む)	9.4	3.4	12.8

## 研究成果の概要

### 研究成果の概要

#### 1. 極微小突起による超解像化技術の研究

直径 500nm のポリスチレン (PS) 球をプローブとし、240nm の SiO<sub>2</sub> 球の AFM / SNOM 測定を行った。光による距離制御は過去の例から AFM 像と SNOM 像の分離が困難であること列があり、今回は微小面積の試料ステージを製作し AFM 制御で行った (AP-NFO 国際学会発表、IEICE Trans on Electronics 85-C, 2104-2108 (2002))。微小突起プローブに対し、横方向の振動を生じるシェアフォースによる距離制御は計測の上で好ましくないため、垂直力を利用した AFM 制御とした。AFM 制御の工夫としてはプローブと試料の両者が平面であるため、基板同士をナノスケールに接近させて走査することは難しいため、試料側の基板を小さくする方法を取った。光ファイバーを HF 溶液によりエッチングすることで外径 40 $\mu$ m の細さにし、端面を碧開させることで出来た平らな面を試料面とした。AFM/SNOM 像の同時測定を取得することに成功した。

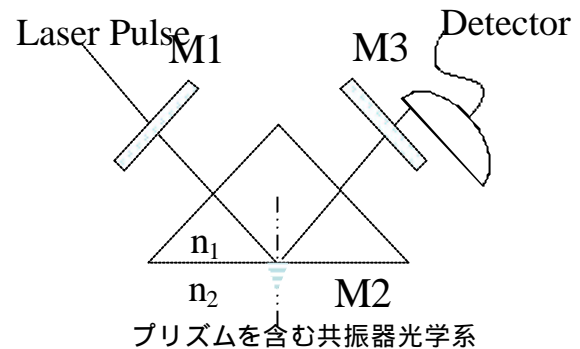
#### 2 半導体加工技術を使ったナノプローブの作製

Si (100) 基板をヒドランによりウエットエッチングすることにより、Si(111)面方位に選択性エッチングが行われることが知られている。これによって検証実験で用いたポリスチレンの微小球と同様のポリマーチップを作製することに成功した。Si 表面は原子オーダーで平らなために本研究のために必要な基板の平坦性が確保できる。まずピラミッド形状のくぼみを作製した。次にポリマーで型を転写するために、ポリスチレン (n=1.59) をディップ法により成膜したが、剥離の際に先端のピラミッド構造が壊れてしまうことがあった。そこで剥離のためにオクタデシルシランの単分子膜を Si 基板表面につけることで表面を疎水化した。この後でポリマーをディップコート剥離することで構造を壊さずに微小突起プローブを作製することができた。

#### 3. 制御 計測技術

プリズムの背面から全反射角度で表面の微小突起を励起し、その微小突起に対して尖った針の先端でエバネッセント波を散乱させることで、プローブ-試料距離と光散乱強度の変化を計測した。対象物の散乱による検出は当然のことながら対象が小さくなればなるほど検出が困難になる。そこでこの入射光学系を共振器構成とすることで感度を上げる方法を考案した。入射光がプリズムの両側にあるミラーを何度も往復することで共振器内の光は増幅されるとともに、対象物とも相互作用が増えるので検出の高感度化が行える。

当初は距離制御のために利用しようと考えていたが、予想していなかったこととして、出力の信号は物体の接近や屈折率の異なる材質に対して変化量が異なることが確認できた。近接場光学ではナノ光源を扱うために、光の回折や干渉といった従来の波動光学の技術が利用できないということがあり、干渉計測などの手法は応用できないと考えていた。しかしながら、本研究で光による距離制御技術を開発するために作製した共振器を持つ近接場光学プローブの励起方法では、共振器による計測の高感度化が行え、すべての材料に本質的な物理量である「屈折率」の計測に発展できることが期待される。計測データから数値化するための方法として、出力される光信号の処理方法を検討中である。この方法は励起光源にパルスレーザーを用いる方法と CW 光源を用いて AO 光変調器で光をチョッピングする方法が可能であり、それぞれの光源で光学系を試作した。近接場光学で扱う光の本体、エバネッセント波は強度が弱く、相互作用距離が短いという特徴を持つため従来の方法では材料との相互作用した効果を検出することが困難であることからアプリケーションも限られているというのが現状である。共振器を組むことにより、光は何度もミラーの間を往復することで増幅されるため強い光源は必要ないというのがこの方法の1つの利点である。次に、エバネッセント波と物質との相互作用を多く持たせるといふ観点から共振器を用いた検出方法は感度を上げられる。パルス光源を用いた場合で説明すると、ps のパルス幅の光がキャビティーに入りミラーの間を何度も往復することで、アウトプットミラーからの出力パルスの幅は本来のものより広がることになる。実験的には 60 ps のパルスが数  $\mu$  s まで伸びている。この値は共振器の組み方に依存する。プリズムの上に何も置かない空気 (屈折率 n = 1.0) の場合と、エタノール (n=1.329) の場合を比較したところ、明らかな減衰時間の違いが見られている。



#### 4 . 光ディスク応用技術の材料研究

近接場光学を用いた光メモリーを考えた場合どのような記録材料が適しているのか検討する必要がある。現在用いられているような相変化材料などは光による非線形効果、つまりは光を熱として用いた記録方法であるために、近接場光学的な手法では使うことができないと考える方が普通であろう。また、近接場光学は名前のおり、プローブを測定対象に近接させるためにナノメートルスケールでの平坦さなども要求されるために、構造と機能を実現できる材料の検討が必要である。そこで、フォトンモード記録の可能性として、光の吸収の2色性を用いるフォトクロミック材料と光照射により屈折率の変調を生ずるフォトポリマーを検討した。

フォトクロミック材料としては、耐久性と信頼性のあるジアリルエテンを選んだ。バインダー相としてのポリマーにはポリスチレン (PS) とポリメチルメタクリレート (PMMA) のコポリマーを用い、あらかじめナノスケールでの相分離構造をもつ膜をスピニングにより成膜した。この分子は昇華性を有するので、真空蒸気輸送法という真空プロセスによる

成膜法でポリマー材料に染色することで試料に用いた。色素蒸気輸送法では分子の相溶性を利用した選択的な染色が行える。この系ではPSのドメインに色素が染色される。これを近接場光学顕微鏡により観察することで、PSドメイン中に溶けているジアリルエテン分子を吸収測定によって検出することができた。(J. Microscopy in Press)

屈折率変調の材料としては重合反応により屈折率が変化するフォトポリマーを計測した。この材料系は屈折率変調を0.02程度生じることがホログラム記録の実験からわかっている。重合反応が嫌気性のため近接場光学的な記録はおこなえないため、平面波の干渉縞で記録を行った。基板の方向を干渉縞の方向から変えての多重記録も行った。平面波では回折効率が検出不可能である $1\mu\text{m}$ 以下の薄膜で  $n=0.02$ を生じるとされるフォトポリマーの近接場イメージングを行なうことができた。

#### 波及効果、発展方向、改善点等

新規な近接場プローブ方式の開発により新たな方向性が示されたと感じている。微小突起による近接場光学プローブをSi基板の型からポリマーで模りする技術ではプローブをアレイ化し同時多点計測を行うことが可能で、走査型プローブ顕微鏡でありながら計測の効率を飛躍的にあげることが出来るということである。近接場光学での対象は平坦なもので表面近傍しか測れないという制限があるものの、DNAチップなどの生体分析技術などに応用できると考えている。

当初予定していなかったこととして、新しいアプリケーションの可能性が示されたということがある。近接場光学ではナノ光源を扱うために、光の回折や干渉といった従来の波動光学の技術が利用できないということがあり、干渉計測などの手法は応用できないと考えていた。しかしながら、本研究で光による距離制御技術を開発するために作製した共振器を持つ近接場プローブの励起方法では、共振器による計測の高感度化が行え、すべての材料に本質的な物理量である、「屈折率」の計測に発展できると考えている。屈折率を高感度に、また小さな領域で計測することができれば顕微鏡技術で用いられている蛍光プローブ等の手法を用いる必要がなくなる可能性がある。光記録の分野では材料の非線形性を利用した読み書きではない記録方法が開発できる可能性がある。

## 研究成果発表等の状況

### (1) 研究発表件数

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合計
国内	1件	0件	0件	1件
国際	1件	0件	3件	4件
合計	2件	0件	3件	5件

### (2) 特許等出願件数

合計 0件 (うち国内0件、国外0件)

### (3) 受賞等

0件 (うち国内0件、国外0件)

### (4) 主な原著論文による発表

国内誌 (国内英文誌を含む)

- 1 Noritaka Yamamoto, and Takashi Hiraga, "A small protrusion as a probe for apertureless scanning near-field optical microscopy", IEICE Transactions on Electronics 85-C, 2104-2108 (2002)

国外誌

- 1 N. Yamamoto, T. Mizokuro, H. Mochizuki, S. Horiuchi, and T. Hiraga: "Near-field Optical Microscope Observation of Dye-containing Nano-domains", J. Microscopy, in press. (Vol. 212, Pt 3 January 2004, pp. 00-00)

### (5) 主要雑誌への研究成果発表

Journal	Impact Factor
IEICE T ELECTRON (2002)	0.571
J MICROSC- OXFORD (2003)	1.212

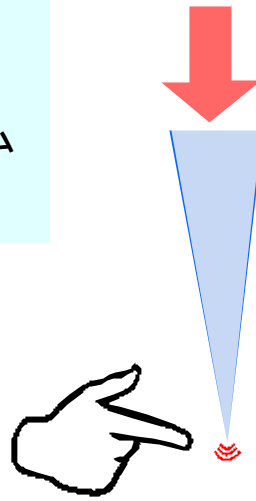
## 高輝度近接場光プローブの開発と全反射光制御方法

従来の近接場光プローブ

細い(壊れやすい)  
光ファイバなのでシステム  
として小さく出来ない  
光量が小さい

重要なのはこの先端の部分!

平らな板この部分を削れば  
近接場光プローブならぬか?



平らなガラス板に微小な突起をつける  
(60~100nm程度なので本当は小さく)

屈折率の大きなガラス

全反射照明すれば背景光  
を小さく出来る



現行のピックアップのイメージ

・プローブを顕微鏡の上に乗せる  
・試料を接触させる

