

近接場光記録用平面型プローブアレイのプローブ先端先鋭化技術

Fabrication of Sharpened Planar Type Probe Array for Near-field Optical Memory

山口 隆行* 福田 浩章** 高橋 淳一** 横森 清***
Takayuki YAMAGUCHI Hiroaki FUKUDA Junichi TAKAHASHI Kiyoshi YOKOMORI

要 旨

Tb/in²クラスの高密度記録を目指し、近接場光を用いた高密度相変化記録用に平面型プローブアレイの形成技術を開発中である。独自に開発した干渉露光法を用いて形成した平面型プローブアレイを、プローブ形状を維持したまま等方的に縮小する新規技術を開発した。本方法を用いて、SiO₂基板に先端平面径約40nm、底面径約1.5 μm、高さ約2.5 μmのプローブを形成することができた。

ABSTRACT

To achieve the high areal recording density more than 1Tb/in² by using near-field optical phase change recording, we developed the new fabrication technique for a planar type probe array by using an Interferometric exposure. To fabricate the nano-meter order diameter of the tip of the probe, we developed the fabrication technique to shrink the probe by using the isotropic wet etching. We were able to fabricate the probe array made of SiO₂. The probe of which tip diameter is 40 nm, the base diameter is 1.5 μm, and the height is 2.5 μm has been successfully fabricated.

* 研究開発本部 東北研究所

Tohoku R&D Center, Research and Development Group

** 研究開発本部 先端技術研究所

Advanced Technology R&D Center, Research and Development Group

*** 研究開発本部 研究開発企画室

R&D Planning Department, Research and Development Group

1. 背景と目的

近年、情報化社会の進展により、ネットワークの高速化、大容量化が進み、情報流通量が急激に増大している。これに伴い、大容量の情報を効率的に受配信、抽出するための大容量情報記録装置の実現が待望されている。現在このような情報を蓄積する外部記憶装置として、DVD等の光メモリが幅広く普及している。しかしながらこのような従来の光メモリでは、光の回折限界により記録密度が制限されるため大容量化が困難になりつつある。

この回折限界の壁を打ち破り、高面密度化を達成するために、ナノ寸法で物質と相互作用する近接場光¹⁾を用いた光メモリが提案されている。^{2), 3), 4)}

筆者らは干渉露光法を用いた平面型近接場光プローブアレイ形成技術を考案した。この方法を用い、先端開口径約800nmのプローブアレイを有する石英製の平面型のスライダを形成し、波長780nmの光を用い、相変化記録媒体に約290nmの記録マークを形成したことを報告した。⁵⁾

将来の情報記録の高密度化に対応するためには更なる記録マークの縮小が必要である。たとえば1テラビット/inch²級の場合、記録マークサイズは30nm程度にする必要があり、プローブ先端開口径も30~40nmに縮小する必要がある。しかしながら、干渉露光法を用いた平面型プローブ形成技術では先端細分化には限度があり、先端開口径300nm程度が限界であった。

この限界を打ち破り、先端開口径30~40nmのプローブアレイを有するスライダを形成するための新規技術が求められている。

本稿では、干渉露光法を用いてスライダを形成する技術と、形成したスライダのプローブを、ウエット等方性エッチングを用いて先鋭化する技術について報告する。

2. 技術

2-1 干渉露光法を用いたプローブアレイ形成技術

Fig.1に示すように、マスクパターンとして同心円状の的形（まとがた）パターンを用い、ラインとスペースの幅を露光装置の解像度以下にして露光を行うことで、光の回折・干渉

により、フォトマスクパターンと異なる円錐形のフォトレジストパターンを得ることができる。的形パターンのエッジ部により回折された光とマスク中間スペース部の透明部分を通る入射平行光との光路差、およびマスク部での拡散光成分による干渉により、中央部に露光の少ない部分が生ずる。そのため、現像後に円錐形のフォトレジストパターンを形成することができる。

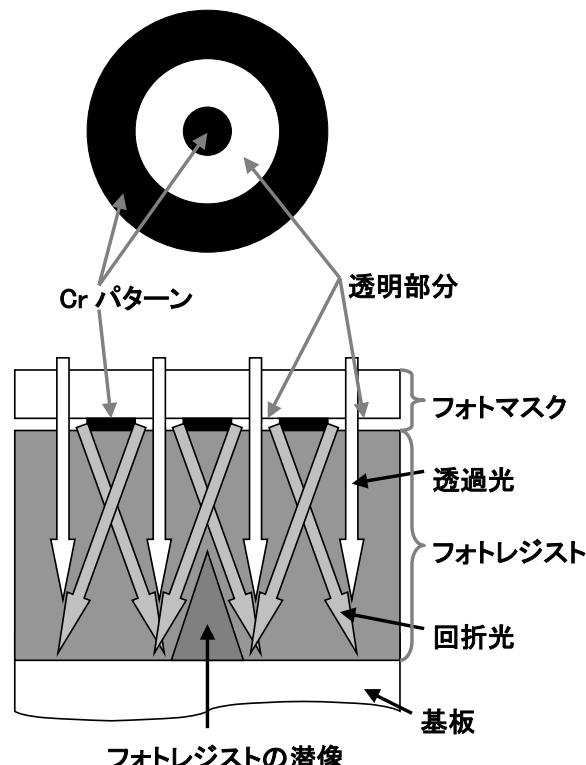


Fig.1 Principle of Interferometric exposure technique.

このフォトレジストパターンを、ドライ異方性エッチングにより基板に転写することで、平面型プローブアレイを形成することができる。

なおフォトマスクに同時に、スライダ部の摺動パッドやプローブ保護用の壁の基となるパターンを入れ込むことにより、一括でスライダを形成することができる。

解像限界が約3μmのラインアンドスペースの性能を有するコンタクト式露光機、ポジ型レジストとして東京応化社製のOFPR800を用いて形成したフォトレジストパターンの全体形状をFig.2に、プローブ部拡大形状をFig.3に示す。

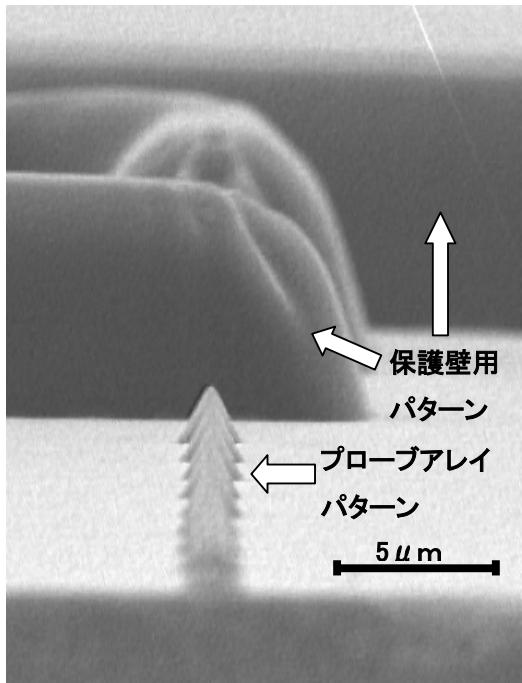


Fig.2 Photo resist pattern fabricated by Interferometric exposure technique.

フォトマスクパターンは、中心円直径、スペース、外側円幅とも $0.4\text{ }\mu\text{m}$ から $1.2\text{ }\mu\text{m}$ の範囲で評価を行った。Fig.3に示したように、プローブ用フォトレジスト形状は、頂角、大きさとも自由に調整可能である。

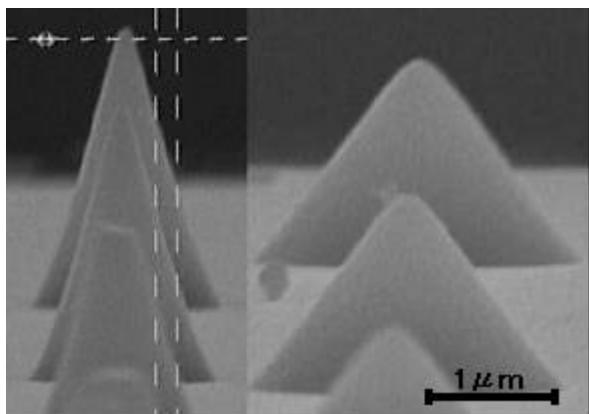


Fig.3 Enlarged SEM image of photoresist pattern for probe fabrication.

このレジストパターンを、ドライ異方性エッティングを用いて基板に転写する。結果をFig.4に示す。基板材料としては、異方性エッティングが可能な材料ならすべてに対応可能であるが、今回は広範囲の光波長に対して透明である石英を用いた。

異方性エッティング時に、フォトレジストと基板材料のエッティング速度比を調整することにより、プローブの頂角を調整可能である。Fig.4に示した例では、石英／フォトレジストのエッティング速度比は、約3である。

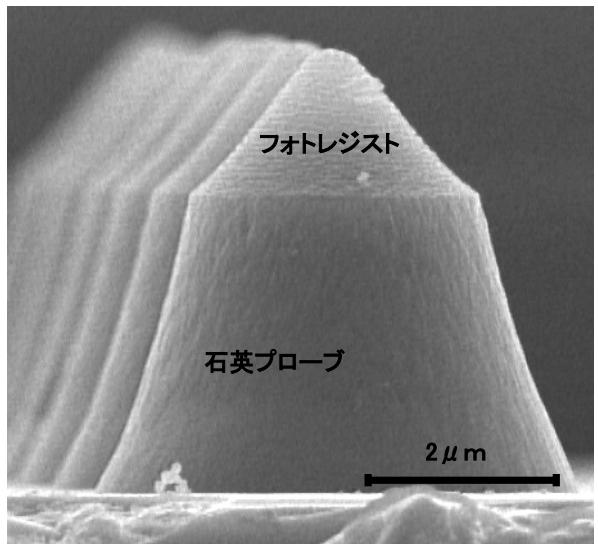


Fig.4 SEM image of the probe core after anisotropic dry etching.

次いでアッシングによりフォトレジストを除去する。フォトレジスト除去後のスライダの全体形状をFig.5に示す。プローブは1列に10本、 $20\text{ }\mu\text{m}$ ピッチで形成している。なお、評価用に列ごとにフォトマスクの的形パターンのサイズを変化させてあるため、形成されたプローブも大きさが異なっている。代表的なプローブの形状をFig.6に示す。

さらに、スライダ全面に伝播光を遮光するための遮光膜を形成し、先端平面部の遮光膜を除去し、開口（光出射口）を形成することにより平面型近接場光プローブアレイを有するスライダが完成する。完成したプローブ形状をFig.7に示す。遮光膜として厚さ200nmのAlをスパッタリングで形成し、先端のAl膜除去を収束イオンビーム加工装置（FIB）で行った例である。なお、遮光膜除去を精密研磨で行う技術も開発済である。精密研磨技術においては、遮光膜と石英の硬度が著しく異なること、Fig.5に示したように、プローブ周辺に保護用壁を形成してあり、プローブ先端平面と保護用壁が同一高さであることにより、プローブ上面で研磨を自動的に停止させられるという特徴を有している。

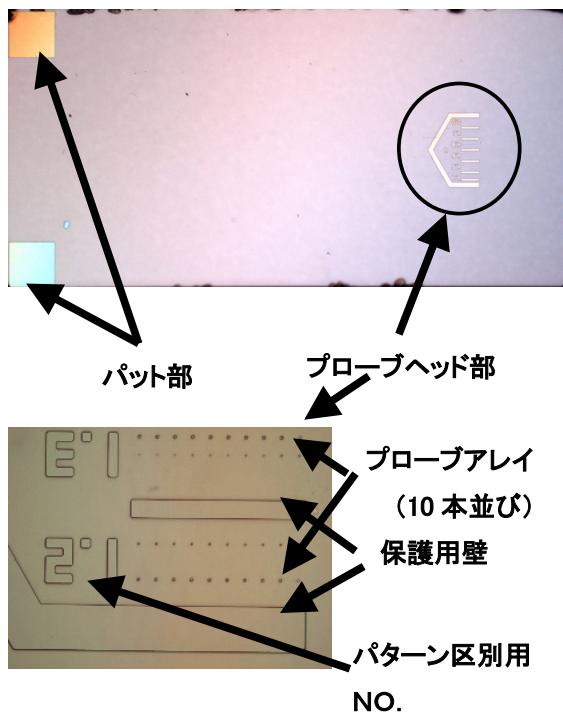


Fig.5 The top view of the fabricated slider.

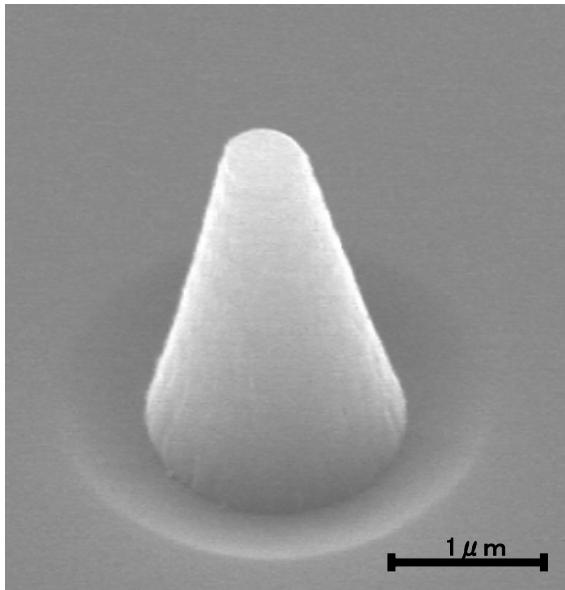


Fig.6 SEM image of the probe core.

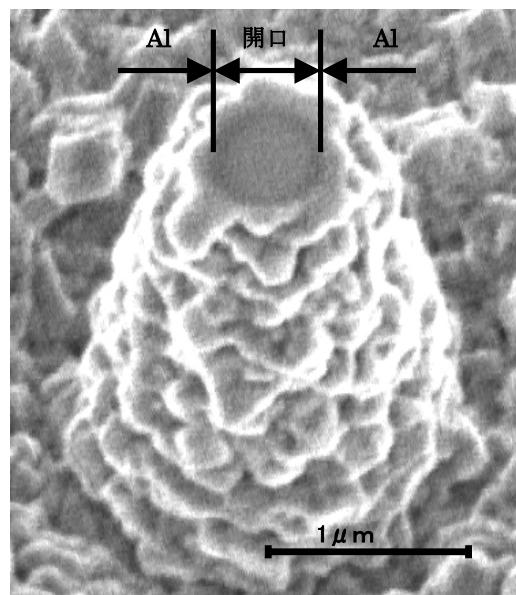


Fig.7 SEM image of the aperture probe coated with Al.

2-2 プローブ先端先鋭化技術

Fig.3, Fig.4に示したように、干渉露光法で形成したプローブ用フォトレジストパターンは先端部が丸くなる。そのため、作製可能な先端平面径は制限を受け、300nm程度が限界である。従って1テラビット/inch²級の記録密度に対応可能な、30～40nmの先端平面径を有するプローブを形成するためには新規技術が必要である。この目的のため、干渉露光法で形成したプローブを、等方性ウエットエッチングにより形状を保ったままで縮小する技術を開発した。以下にこの技術の詳細について報告する。

2-2-1 構想

プローブ先端先鋭化の具体的な方法として下記2種類について検討を行った。すなわち、案1としてFig.8に示したようにレジストを残した状態（Fig.4の状態）で等方性エッチングを行う方法と、案2としてFig.9に示したようにレジスト除去した状態（Fig.6の状態）でエッチングする方法である。

案1の方法では、1)プローブ先端平面は確実に維持される。2)必要なエッチング量は案2より少なくてすむ。というメリットがあるが、エッチング液に対するフォトレジスト耐性有無が課題になる。なお、エッチングを過剰に行うと（Fig.8のbの状態まで行うと）プローブ先端が保護用壁より低くなるため、先端平面を残した状態でエッチングを停止する必要がある。

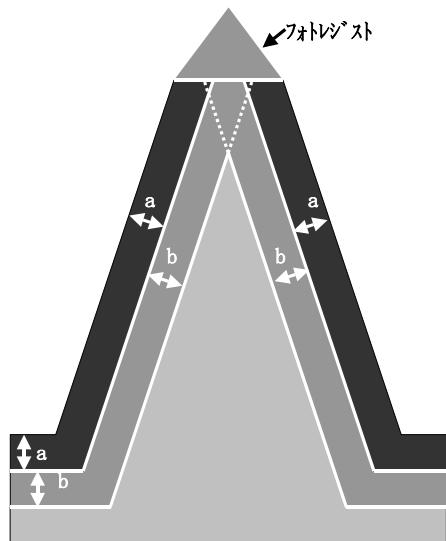


Fig.8 Schematic of Type 1 fabrication process.

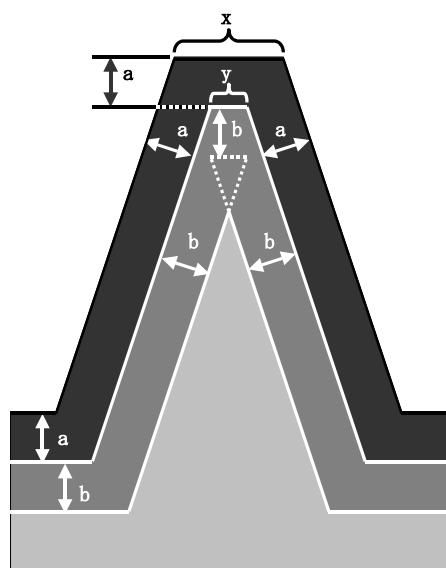


Fig.9 Schematic of Type 2 fabrication process.

案2の方法では、フォトレジスト耐性に関しては問題ないが、先端平面維持可能かどうか（等方性の完全性）が課題になる。なお、エッチングを過剰に行うと（Fig.9のbの状態まで行うと）プローブ先端が保護用壁より低くなるという現象は案1と同様である。

2-2-2 エッティング液の検討

使用している基板材料が石英であるため、フッ酸系のエッティング液を検討した。要求されるエッティング特性は、

- 1) 等方性であること。（特に案2に対しては重要）
- 2) エッティング面荒れを起こさないこと。
- 3) エッティング速度は50~100nm/分程度。

である。

近接場用ファイバープローブの形成に用いられるエッティング液を3種類⁶⁾、フッ酸の原液及びH₂Oでの希釈液を2種類、フッ化アンモニウム液、半導体用バッファードフッ酸（BHF）液を2種類の、計10種類を検討した。検討したエッティング液組成をTable 1に示す。

Table 1 Etching solution composition.

液組成			備考
NH ₄ F (40%)	HF (50%)	H ₂ O	
10	1	1	
3	1	1	ファイバープローブ エッティング液
1	1	1	
0	1	10	
0	1	6	フッ酸+水
0	1	0	
1	0	0	参考
6	1	0	
10	1	0	半導体用BHF

これらのエッティング液を用い、エッティング速度、被エッティング面平滑度を評価した。各エッティング液による石英基板のエッティング速度をFig.10及びTable 2に示す。Fig.10より、エッティング量とエッティング時間は線形な関係にあることがわかった。従って必要なエッティング量は時間でコントロールすることができる。Table 2より、適度なエッティング速度を有するのは10 : 1 : 1又は10 : 1 : 0である。

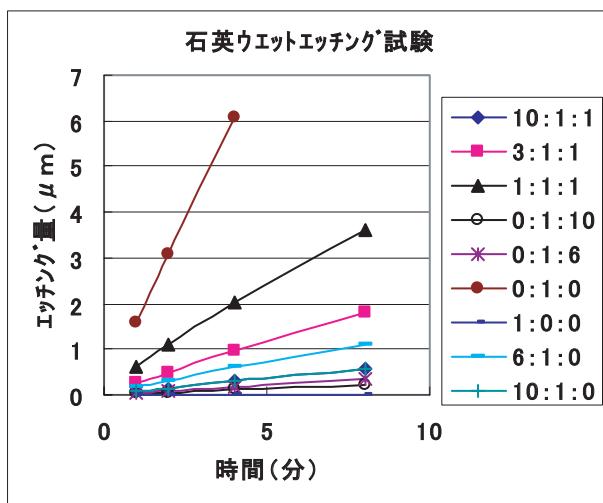


Fig.10 Etching rate of SiO_2 .

Table 2 Relationship between Etching rate and Etching solution composition.

液組成			エッティング 速度 (nm/分)
NH_4F 40%	HF 50%	H_2O	
10	1	1	71
3	1	1	230
1	1	1	469
0	1	10	28
0	1	6	47
0	1	0	1531
1	0	0	2.3
6	1	0	143
10	1	0	74

各エッティング液による石英基板の被エッティング面平滑度を Fig.11に示す。すべての条件で平滑度は2nm以下であり、良好であることがわかる。

2-2-3 プローブエッティング試験

以上の結果より、エッティング液組成として半導体用として一般的に用いられているBHF101 ($\text{NH}_4\text{F}:\text{HF}:\text{H}_2\text{O}=10:1:0$) を用いることとし、実際のプローブのエッティングを行った。フォトレジストが残った状態でのエッティング（案1の方法）の結果をFig.12に示す。左側がエッティング直後の状態、右側がフォトレジストを除去した状態である。

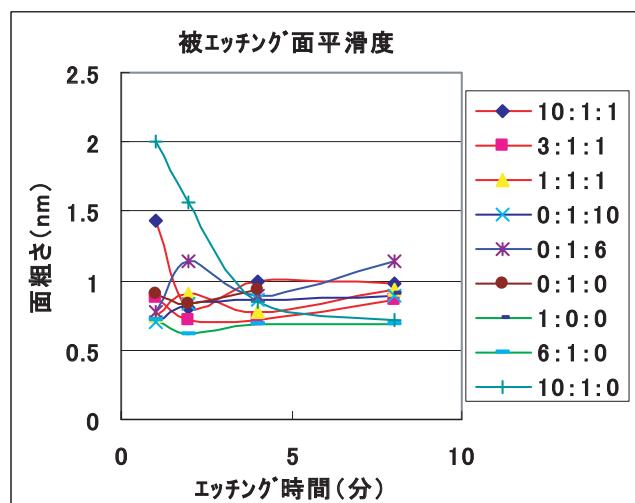


Fig.11 Etched surface roughness.

レジスト除去後の先端が斜めになっており、先端平面が維持できていないことがわかる。これは、エッティング中に石英とフォトレジスト界面にエッティング液が染み込んだためと推定している。この結果から、案1は適用できないことがわかった。

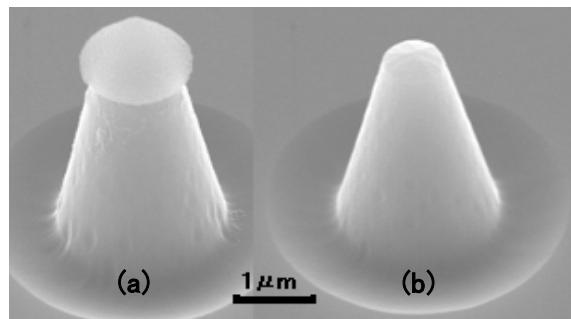


Fig.12 SEM images of the probe cores fabricated by the Type 1 process. (a) Before removing photoresist. (b) After removing photoresist.

フォトレジストを除去した状態でのエッティング（案2の方）の結果をFig.13に示す。左側がエッティング前の状態、右側がエッティング後の状態である。先端平面が維持されたまま縮小されており、先端平面と斜面のエッジのダレもなく、良好な結果が得られた。エッティング時間5分26秒（エッティング量設定400nm）であり、根元径が $2.88 \mu\text{m}$ から $2.00 \mu\text{m}$ ～ $0.88 \mu\text{m}$ 縮小、先端径が $1.60 \mu\text{m}$ から $0.87 \mu\text{m}$ ～ $0.73 \mu\text{m}$ 縮小できる。

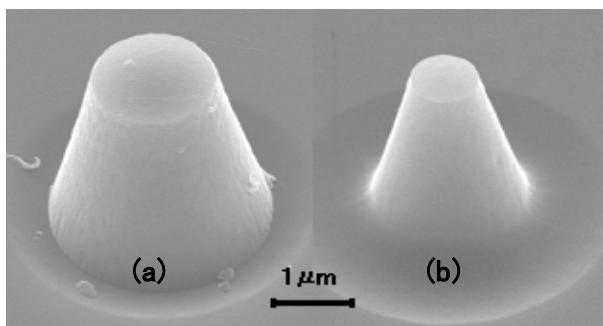


Fig.13 SEM images of the probe cores fabricated by the Type 2 process. (a) Before wet isotropic etching (b) After isotropic wet etching.

2-2-4 エッティング量の計算方法

目標とする先端平面径を得るために、必要なエッティング量を求める方法を検討した。この結果を、Fig.14を用いて説明する。

初期プローブ先端平面径をx、目標とする先端平面径をyとする。干渉露光法で形成したプローブ形状をSEMで測定し、先端平面半径(x)及び頂角(θ)を求める。この結果より、目標先端平面径(y)と、必要なエッティング量(a)との関係を求め、

$$a = 1/2 (x - y) / \{ (1/\sin \theta) - 1 \} \tan \theta \quad (1)$$

なる式を導いた。

式(1)で計算したエッティング量(a)から、必要なエッティング時間を、Table 2のエッティング速度のデータより求める。

求めたエッティング時間、試料をエッティングすることにより必要な先端平面径を有するプローブを形成することができる。

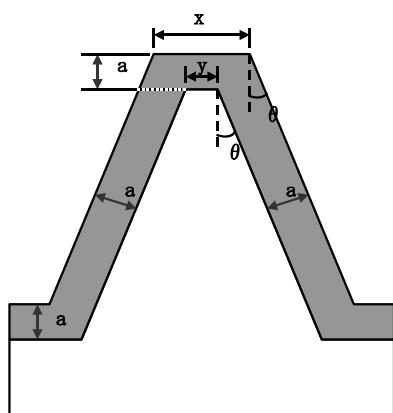


Fig.14 Schematic of the determination of the etching thickness.

2-2-5 結果の検証

式(1)の精度を検証するための検討を行った。結果をTable 3に示す。目標とするプローブ先端平面径を30nmとして式(1)を用いて必要なエッティング量(a)を計算し、Table 2のデータよりエッティング時間を求めた。BHF101エッティング液($\text{NH}_4\text{F:HF:H}_2\text{O}=10:1:0$ 、エッティング速度74nm/分)を用い必要な時間エッティングを行い、エッティング後のプローブ形状をSEMで測定し、実測値y、aを求めた。

エッティング量(a)の設定値と実測値のずれは時間に依存せず-10~30%の範囲に収まっている。多少のばらつきはあるものの、式(1)が妥当であることを確認した。

Table 3 A certification result of an equation (1).

サンプル NO.	θ (°)	x (nm)	設定 a (nm)	エッティング時間(分)	結果 a (nm)	設定 a/結果 a
a	15	601	286	3.88	322	0.89
b	19	369	236	3.20	203	1.16
c	19	450	293	3.97	226	1.30
d	21	590	406	5.50	326	1.25
e	18	403	258	3.50	203	1.27
f	16	234	136	1.85	132	1.03

以上述べたように、等方性エッティングを用いて、先端平面径を、平面形状を維持したまま縮小できることを確認した。

この技術を用いて、先端平面径30~40nmを有するプローブの形成を行った。結果を以下に示す。Fig.15は先端平面径40nmのプローブの側面SEM写真であり、Fig.16は同一プローブの平面SEM写真である。

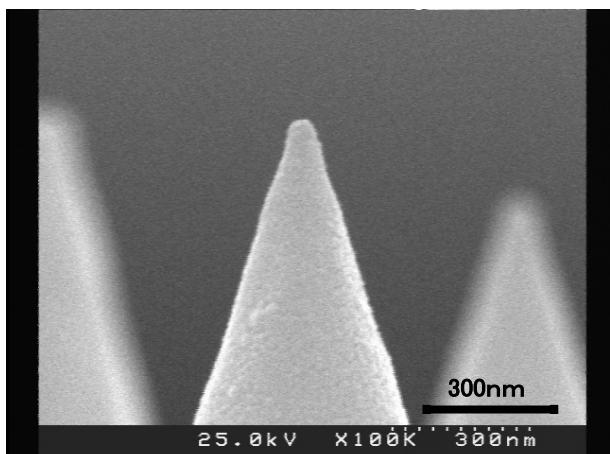


Fig.15 SEM image of the probe with 40nm diameter of the tip. Side view.

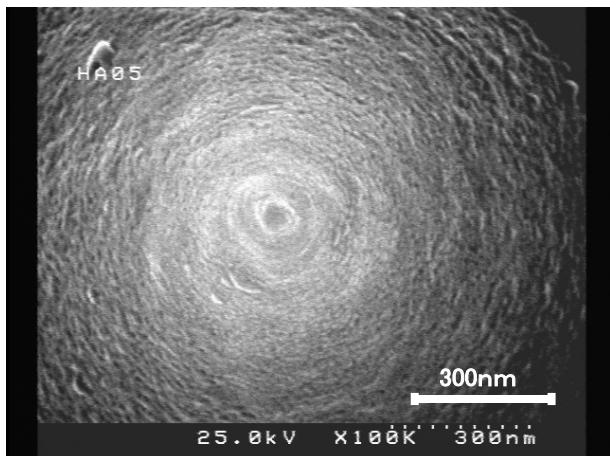


Fig.16 SEM image of the probe with 40nm diameter of the tip. Top view.

以上に示すように、本技術を用いて先端平面径30~40nmを有するプローブを形成できることを確認した。

このプローブに遮光膜を形成し、先端平面部の遮光膜を除去して光出射用の開口を形成することにより平面型近接場光プローブアレイを有するスライダを形成する。形成した光出射用開口を有するプローブの形状をFig.17に示す。遮光膜として厚さ200nmのAlをスパッタリングで形成し、先端のAl膜除去をFIBで行った例である。Fig.17の先端開口径は40nmである。これにより、1テラビット/inch²級の記録が可能となるスライダを形成可能な技術を開発できた。

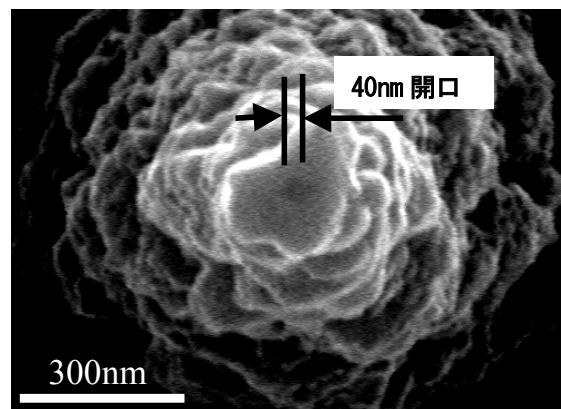


Fig.17 SEM image of the probe coated with Al and have a 40nm aperture.

3. まとめ

干渉露光法を用いて形成したスライダのプローブアレイを、ウェット等方性エッチングを用いて先鋭化することにより、目標とする先端開口径40nmのプローブアレイを有するスライダを形成できた。これにより1テラビット/inch²級の記録密度に対応可能な近接場光記録用プローブアレイ形成技術を獲得できた。

4. 今後の展開

本技術を用いて作成した近接場光プローブの、光出射特性の評価を行い、光記録への適用を目指す。

謝辞

FIB加工は東京工業大学の装置を借用し、加工は東京大学の大津元一教授、野村航氏に実施していただいた。ここに感謝の意を表します。

本研究は、経済産業省の資金を基に、(財)光産業技術振興協会が受託した平成14年度新規プロジェクト「大容量光ストレージ技術の開発事業」(平成15年度からNEDOプロジェクト)に関するものである。

参考文献

- 1) 大津元一, 河田聰編: ナノ光学ハンドブック, 朝倉書店, (2000)
- 2) 高橋淳一: 超高密度近接場光メモリにおける光ピックアップ・スライダ, 光技術コンタクト, 38, (2000), pp. 663–675.
- 3) K. Goto : Proposal of ultrahigh density optical disk system using a vertical cavity surface emitting laser array, Jap. J. Appl. Phys., 37, (1998), pp. 2274–2278.
- 4) H. Yoshikawa et al. : 7.5-MHz data transfer rate with a planar aperture mounted upon a near-field optical slider, Opt. Lett. , 25, (2000), pp. 67–69.
- 5) 福田浩章他 : 微小開口つきスライダを用いた近接場光による高密度相変化記録, Ricoh Technical Report 30, (2004), pp. 20–26
- 6) T. Saiki et al : Tailoring a high-transmission fiber probe for photon scanning tunneling microscope, Appl. Phys. Lett. , 68(19), (1996) pp. 2612–2614