
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

High Density Optical Near-field Recording on the Phase Change Media with a Sub-wavelength Sized Aperture Contact Slider

福田 浩章* 山口 隆行* 林 嘉隆* 豊島 伸朗* 高橋 淳一*
Hiroaki FUKUDA Takayuki YAMAGUCHI Yoshitaka HAYASHI Nobuaki TOYOSHIMA Junichi TAKAHASHI

要 旨

先端に波長以下の寸法の微小開口を備えた石英プローブを持つスライダヘッドを半導体バッチプロセスを用い作製した。作製したスライダヘッドに波長780nmの半導体レーザ光を入射し、回転させたAgInSbTeを記録層として持つ表面型相変化記録媒体に回折限界以下の寸法（290nm）で結晶化記録マーク及び、アモルファスマーク記録マークを形成することができた。さらに、走査型電子顕微鏡を用い、微小開口を備えたプローブヘッドにより記録した相変化マークの形状をはじめ観察した。

ABSTRACT

We have demonstrated the high density optical near-field recording on the phase change media by use of a sub-wavelength sized aperture probe slider. The contact slider with a probe array is fabricated by interferometric exposure technique. By illumination with a laser beam ($\lambda=780\text{nm}$) of one element of the probe array, phase-change marks with length of around 290 nm were recorded on the rotating surface recording disc which use AgInSbTe. The shapes of recorded phase-change marks could be observed clearly by scanning electron microscopy.

* 研究開発本部 中央研究所
Research and Development Center, Research and Development Group

1. 背景と目的

近年、情報化社会の進展によるネットワークの高速化、大容量化に伴い流通する情報は急激な増大が続いており、こうした大容量の情報を効率的に受配信、抽出するために、大容量の情報を蓄積できる情報記録装置の実現が必要である。現在外部記憶装置として、CD-R/RW、記録型DVD等の光メモリが幅広く普及している。このような光メモリでは、光源から出射された光をレンズにより記録媒体上に小さな集光スポットを形成し、この光によって媒体に情報を記録し、媒体に記録された情報を再生している。しかし、光をレンズで1点に集めようとしても光の回折現象により、焦点におけるスポットの拡がりには光の波長程度にしか小さくすることはできない。この最小の拡がりには回折限界と呼ばれている。現行の光メモリ大容量化技術として、集光スポットの小径化のための光源の短波長化、対物レンズの高NA化が検討され、光源として青色半導体レーザ、SIL (Solid Immersion Lens) などを用いた光メモリシステムが提案されている。さらに現状の光スポットを用いた場合の大容量化技術として多値化、多層化技術なども検討されている。しかし、いずれの場合においても、光の回折限界以上の高記録密度を達成することは非常に困難である。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を用いた光メモリが提案されている。近接場光とはナノメートル寸法の微小物質表面に発生し、伝播していかない光のことである。この光は微小物質と同程度の寸法を持つため、たとえば光源波長以下の大きさの微小開口を作ると、その開口直径と同程度の大きさの寸法の光、すなわち上記回折限界以下の寸法の光を利用することが可能になる。¹⁾これまで、近接場光顕微鏡を用い、微小開口を備えたファイバースコープによる各種光記録媒体への近接場光による記録再生²⁻⁴⁾が報告されている。しかしながら、このようなファイバースコープを用いた場合、プローブが媒体上を走査する速度が遅いという問題がある。この問題を克服し、さらなる記録、再生速度の高速化を目指すため、近接場光プローブを平面型のスライダ上に形成し、高速に回転する光記録媒体の表面上を滑らせ記録再生を行うシステムが提案されている。⁵⁻⁷⁾

今回、我々は新たに半導体バッチプロセスを利用した干渉露光法による微小開口プローブを備えたスライダ作製方法、

及び、プローブから照射された近接場光を用いた相変化記録媒体への記録マーク形成の検討を行った。

本稿では、我々が提案した干渉露光法による微小開口プローブを備えたスライダ作製プロセスを紹介する。本方法によりプローブスライダを作製し、回転させた相変化記録媒体上にスライダプローブから近接場光を照射することにより、光源波長以下の寸法の結晶化記録マーク及び、アモルファスマーク記録マークを形成し、走査型電子顕微鏡により形成した記録マーク形状の観察を行った結果について報告する。

2. 技術

2-1 プローブヘッド作製プロセス

近接場光を発生させるプローブヘッドとして、スライダ上に微小開口を備えた石英突起を作製した。近接場光は基本的に使用する光の波長とは無関係に微小開口部の形状によりその開口寸法と同程度の大きさの寸法の近接場光が得られる。しかし、使用する波長が短い方が微小開口への光結合効率を向上させる可能性があるため、現在実現されている半導体レーザで最も波長が短い青紫色レーザ($\lambda \approx 400\text{nm}$)でも使用可能な材料が望ましい。そのため、波長400nm近辺で十分な光透過率を持つ石英基板をスライダの材料として用いた。さらに近接場光ヘッドの量産性を考え、バッチプロセスで作製されているマイクロレンズの作製プロセスを応用し、フォトリソ・エッチング・研磨などを用いた加工プロセスを検討し、石英基板上に突起形状を加工することにした。今回、新たに提案する近接場光発生用微小開口プローブアレイヘッドの作製プロセスフローを、Fig.1に示した。以下作製プロセスをステップ毎に説明する。

- ① 干渉露光法により突起型プローブヘッドの基となる円錐台のレジストパターンを形成する。同時に、スライダ部の摺動パッドやスキー部の基となるレジストパターンを形成する。
- ② NLD (Neutral Line or Loop Discharge : 磁気中性線放電) プラズマエッチングにより石英をエッチングすることにより、円錐台のレジスト形状が石英基板上に転写され、石英の円錐台突起形状が形成される。
- ③ アッシャー或いは剥離液により残ったレジストを除去

する。

- ④ 全面に伝搬光を遮光するための金属膜を堆積する。
- ⑤ 媒体と接触する摺動パッドやスキー部の周辺の金属を除去するため、この部分が露出するようなレジストパターンを形成し、摺動パッドやスキー部上の金属膜をエッチングで除去する。
- ⑥ 石英突起を保護するため、再度レジストを数十 μm の厚みに塗布する。
- ⑦ 微小開口をプローブ突起先端に形成するため、精密研磨を行う。レジスト及び金属膜と石英の硬度が著しく異なることとパッド部の表面高さが石英突起上面と同一面であることから、研磨が石英突起上面で自動的に停止する。
- ⑧ レジストを除去する。

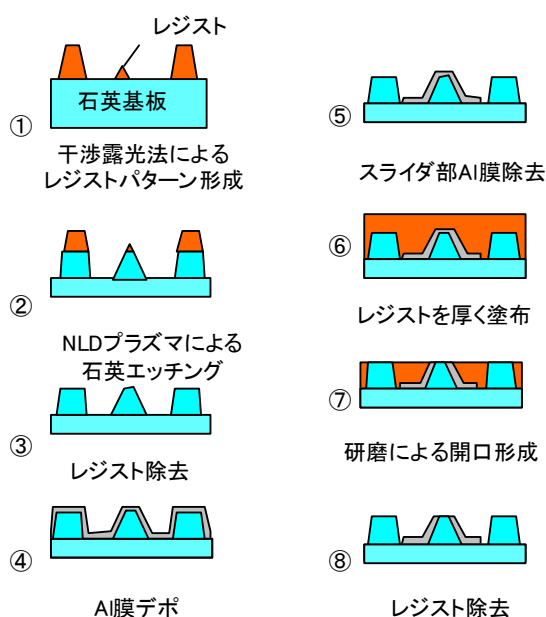


Fig.1 Fabrication process for the sub-wavelength sized aperture contact slider.

2-2 干渉露光法

近接場光発生用微小開口プローブヘッドの作製プロセスにおいて、独自に開発した干渉露光法により円錐台のレジストパターンを石英基板上に作製し、これの形状を石英に転写する方法を提案した。この方法では円錐台のレジストパターン形成時やこのパターンを石英に転写する際の条件により円錐台或いは円錐形石英突起の形状制御が容易になるという特

徴がある。ここで、マスクパターンとしてFig.2に示すような同心円状的（まど）形（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レジストパターンを得ることができ、本方法を干渉露光法と名付けた。Fig.3に示すように、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、現像後に円錐形のレジストパターンを形成することができる。

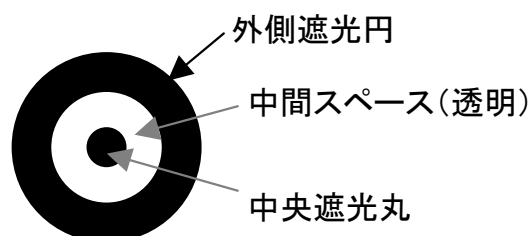


Fig.2 The mask pattern of photolithography for interferometric exposure method.

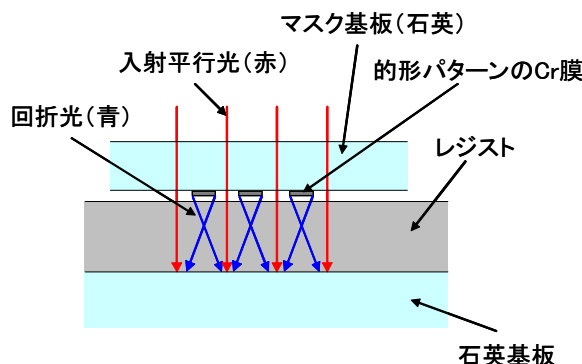


Fig.3 The principle of interferometric exposure method.

2-3 微小開口プローブアレイヘッドの作製

2-1, 2-2章で示した作製プロセスを用いて、実際に近接場光発生用微小開口プローブアレイヘッドを作製した。干渉露光法ではコンタクト方式の露光機とポジ型フォトリソを用いる。今回それぞれ、大日本スクリーン製のMAP-1300 (DSP-223Az) : 解像限界=約 $3\mu\text{m}$ ラインアンドスペース、東京応化OFPR800を用いた。現像剤は東京応化NMD-Wを用いた。レジストパターンを石英基板上に転写する際に用いた、

上面から20倍の対物レンズを通してプローブが形成されていないスライダ裏面から、プローブ根元に集光するように照射した。光源には半導体レーザ（波長780nm）を用い、媒体上に記録マーク形成するため、半導体レーザを駆動するためのドライバに、基準信号としてパルスジェネレータからのパルスを入力し、所望の時間レーザ光をメディアに照射した。

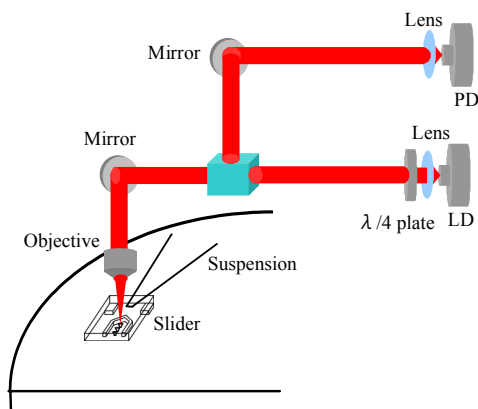


Fig.8 Experimental setup for near-field recording system by use of the contact slider

今回実験に使用した相変化記録媒体の構成をFig.9に示す。ガラス基板の上に、銀、ZnS・SiO₂、AgInSbTe、ZnS・SiO₂、SiNの積層構造になっている。ガラス基板には株式会社オハラの結晶化ガラス基板TS-10SXを用いた。記録層は相変化材料でCD-RW、DVD+RWで使用されているAgInSbTeを用いた。¹¹⁻¹²⁾ 記録したマークの形状観察は走査型電子顕微鏡を用いた。Fig.10に示すように、相変化記録マーク形成後、記録層上方のZnS・SiO₂層を室温でフッ酸（HF（47%）：H₂O₂＝1：2）により1分程度エッチングして除去した後、記録層の2次電子像を観察することにより、相変化記録マークの形状を観察した。¹³⁾

今回、相変化記録マーク形成に際し、モード間干渉を利用し近接場光励起の高効率化を図るため、微小突起の開口径が710nmのスライダを使用した。モード間干渉とは、金属クラッドのテーパ導波路中では、伝播する各モードのカットオフ付近で生じるモード間の干渉のことである。この効果により、モード間干渉が起きている位置に微小開口を設置することにより、励起波長よりも微小なスポットを高効率に得ることができるというものである。¹⁰⁾

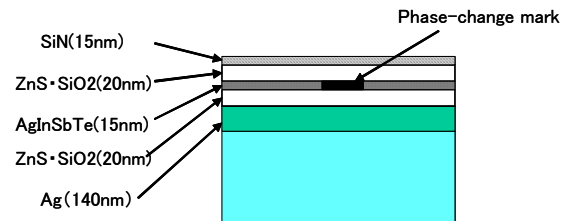


Fig.9 Cross-sectional view of the phase change media.

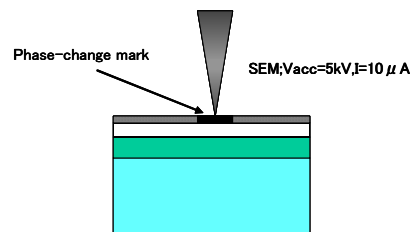


Fig.10 The specimen of SEM observation.



Fig.11 SEM image of the crystallized recording marks.

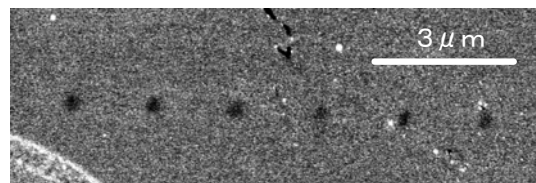


Fig.12 SEM image of the amorphous recording marks.

記録媒体の回転速度は0.5rpm、半導体レーザの照射時間は160ns、変調速度は1kHzで、スライダ上部に入射したレーザ光強度は15mWである。この条件でスライダに設けた微小開口プローブアレイの一つからアモルファス相に近接場光を照射して形成した結晶化記録マークのSEM像をFig.11に示す。記録したマークの大きさは、記録媒体接線方向が660nm、半径方向が290nmである。さらに、結晶相に形成したアモルファス記録マークをFig.12に示す。記録条件は結晶化記録の場合と同じで、記録マークはFig.11同様SEMにより観察した。記録したマークの大きさは、接線方向が300nm、半径方向が290nmである。結晶化記録マークは近接場光の照射による熱の拡散によって、アモルファス記録マークより大きくなっている。今回用いた光源の波長が780nm、プローブの開口径

が710nmであるが、形成されたアモルファスマークの大きさが最小290nmであることから、光源の回折限界以下で記録マークが形成されていることがわかる。¹⁴⁾

3. まとめ

今回、我々は新たに干渉露光法を用いたバッチプロセスによる微小開口プローブを備えたスライダ作製方法を提案し、これを作製した。作製した微小開口付きプローブヘッドからの近接場光により、回転する相変化記録媒体に、結晶化マーク、及びアモルファスマークを回折限界以下の大きさとで記録した。さらに、走査型電子顕微鏡により、記録した相変化記録マークの形状をはじめて観察した。このような記録マークの形状の直接観察は超高密度光記録媒体の開発に有用な情報を提供する一手法であると考えられる。

4. 今後の展開

さらなる光メモリの高密度化の要求に対応するためには、たとえば記録密度が1テラビット/inch²級の場合、直径が20~30nmのピットを記録、再生する必要がある。そのために、さらに微小化、先鋭化されたプローブヘッドの検討を行う必要がある。今後は、ナノメータオーダーのプローブヘッド作製加工技術、作製したプローブの評価法などの検討を行う。

謝辞

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, 河田聡編: “ナノ光学ハンドブック”, 朝倉書店, (2000).
- 2) E. Betzig, J. K. Trautman, R. Wolfe, E. M. Gyogy, P. L. Finn, M. H. Kryder and C. H. Chang: “Near-field magneto-optics and high density data storage”, Appl. Phys. Lett., 61, (1992), 142-144.
- 3) S. Hosaka, T. Shintani, M. Miyamoto, A. Kikukawa, A. Hirotsune, M. Yoshida, K. Fujita and S. Kammer: “Phase change recording using a scanning near-field optical microscope”, J. Appl. Phys., 79, (1996), 8082-8086.
- 4) N. Toyoshima, T. Kawasaki, M. Ohtsuka, J. Takahashi, T. Yatsui, M. Kouroggi and M. Ohtsu: “Recording/Readout/Erasing on phase-change optical media with apertured fiber-probe”, Conference Program of 6th International Conference on Near Field Optics and Related Techniques, (2000), 179 (TuP3).
- 5) 高橋淳一: “超高密度近接場光メモリにおける光ビックアップ・スライダ”, 光技術コンタクト, 38, (2000), 663-675.
- 6) K. Goto: “Proposal of ultrahigh density optical disk system using a vertical cavity surface emitting laser array”, Jpn. J. Appl. Phys., 37, (1998), 2274-2278.
- 7) H. Yoshikawa, Y. Andoh, M. Yamamoto, K. Fukuzawa, T. Tamamura and T. Ohkubo: “7. 5-MHz data-transfer rate with a planar aperture mounted upon a near-field optical slider”, Opt. Lett., 25, (2000), 67-69.
- 8) F. Issiki, K. Ito, K. Etoh and S. Hosaka: “1. 5-Mbit/s direct readout of line-and-space patterns using a scanning near-field optical microscopy probe slider with air-bearing control”, Appl. Phys. Lett., 76, (2000), 804-806.
- 9) T. Yatsui, M. Kouroggi, K. Tsutsui, M. Ohtsu and J. Takahashi: “High-density-speed optical near-field recording-reading with a pyramidal silicon probe on a contact slider”, Opt. Lett., 25, (2000), 1279-1281.
- 10) T. Yatsui, M. Kouroggi and M. Ohtsu: “Increasing throughput of a near-field optical fiber probe over 1000 times by the use of a triple-tapered structure”, Appl. Phys. Lett., 73, (1998), 2090-2092.
- 11) H. Iwasaki, Y. Ide, M. Harigaya, Y. Kageyama and I. Fujimura: “Completely erasable phase change optical disk”, Jpn. J. Appl. Phys. 31, No. 2B, (1992), 461-465.
- 12) K. Ito, M. Harigaya, M. Kinoshita, T. Shibaguchi, E. Suzuki, M. Shinotsuka and Y. Kageyama: “The capability of Ag-In-Sb-Te Phase change material for high speed rewritable 4. 7GB media”, Technical Digest of ISOM, (1998), 192-193.
- 13) H. Miura, Y. Hayashi, S. Fujita, K. Ujiie and K. Yokomori:

“Recording of 0. 1 micron minimum mark size in a new phase change media” , Proceedings of Optical Data Storage, (2000), 102-107.

- 14) 福田浩章, 山口隆行, 林嘉隆, 豊島伸朗, 高橋淳一 : “微小開口つきスライダを用いた高密度相変化記録” , ナノ옵ティクス研究討論会予稿, (2004), 69-72.