

平成 21 年 5 月 1 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18560140

研究課題名（和文）ナノ周期積層膜を記録媒体とする超高密度トライボメモリーの基礎研究

研究課題名（英文）Basic research of ultrahigh density toribo-memory using nanoperiod multilayer films as storage media

研究代表者 三宅 正二郎 (MIYAKE SHOJIRO)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：70229813

研究成果の概要:超高密度記録媒体として物性の異なった層を積層した(Si/C), (C/BN)等のナノ周期積層膜を形成した。ここで(Si/C), (C/BN)膜については1nm膜厚のナノ周期積層膜を実現した。超高密度記録のためのナノ加工特性の検討として、導電性加工工具(チップ)を用い放電と機械作用を併用した新しい加工を実現した。さらに原子間力顕微鏡(AFM)でダイヤモンドチップを用いて、1層(1nm)以下の機械加工を実現した。ナノ周期積層膜に加工された情報を再生する方法として、①形状差、②摩擦力の差、③電流分布の差を取り上げ、加工深さに対応する物性の差を評価した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	690,000	4,190,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・トライボロジー

キーワード：(1)トライボロジー、(2)データストレージ、(3)ナノ材料、(4)原子間力顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

米国、日本などで国家的プロジェクトとして取り上げられている「ナノテクノロジー」では原子、分子サイズでものを加工し、組み立て、機能を持つシステムを形成することが考えられていた。ナノテクノロジーによって、情報技術(IT)、バイオ技術、環境・エネルギー技術などの広範な分野における革命的な技術進化が期待されていた。しかし、ナ

ノテクノロジーを実現するナノ加工すなわち精度をナノメートルレベルまで高めたナノ加工技術は未だ開発の緒についた段階であり、今後のキーテクノロジーとされていた。

ナノテクノロジーの重要な成果目標として超高密度記録があげられ、走査型プローブ顕微鏡(SPM)メモリーの研究が行われていた。一方、情報産業の発展には目覚ましいものがあり、この中でヘッドと記録媒体との相

対運動を基本原理とする磁気ディスクなどのファイル記憶装置が大きな役割を果たしていた。近い将来、現在のメモリーの主流である磁気、光記憶が約200Gb/inch²程度で物理限界に達すると言われ、このためテラビットメモリー(Tb/inch²)を実現できる方式としてSPMメモリが注目されていた。その中でも最も早く実現可能な装置として原子間力顕微鏡(AFM)メモリーが考えられ、提案されていた。例えば、ポリカボネート等の高分子に加熱押圧することによるピットの形成とチップの変形による再生がIBM, 日立などで検討されていた。

機械的作用で記録媒体面に凹凸を形成するトライボメモリーは古代から使われている。特長として、その優れた安定性と信頼性がある。光・熱・磁気による記録では一般に熱・放射線などに弱く、それらに対する安全対策が必須になっていた。一方、石を媒体面として硬い工具を作用させ、機械作用によって記録させる石刻メモリーは、ロゼッタ・ストーンに見られるように信頼性が高い。これは古代に記録された情報が後に発見され解読される可能性もあるほどで、アーカイバルメモリーとして適している。

AFMメモリーは機械作用により局部的に形状、電気特性、機械特性など物性を変化させる超高密度記録が可能である。したがって情報の記録を形状だけではなく、電気特性、機械特性など物性の変化から再生することが期待できた。

報告者は、高密度記録が可能なAFMメモリーの基礎検討として、AFMを用い一定の荷重で硬質チップを記録媒体に押し付け、チップの軌跡をコンピュータで制御することによりナノ加工を実現していた。具体的には記録媒体としてポリカーネート、層状結晶材料を取り上げ、AFMを用いたナノ加工とそのAFM

メモリーへの応用可能性について検討していた。一方、それまでの研究では高分子などを記録媒体としてその熱または機械的変形を用いるものであり、変形の安定性、再生のための走査に対する信頼性など問題点も多かった。これに対し本研究はナノ周期積層膜を記録媒体として用いるため、より微細で高精度なナノ加工が可能である。さらに深さ方向に層単位の加工を実現でき、1箇所にも多値記録が可能になり、飛躍的に記録密度を向上できる。また再生法として層毎の物性の差を利用するので形状変化だけではなく構成材料の動的変形特性の差、摩擦力差、電気抵抗差、表面の静電気量の差など複数の手法が可能になるのでその信頼性を著しく向上できると考えた。

2. 研究の目的

原子間力顕微鏡(Atomic Force Microscopy; AFM)を用い、トライボロジー現象を利用した原子オーダーの機械加工を実現する。このためAFMを用い、各種超硬質チップを被加工物に作用させるトライボプロセッシングの加工メカニズムを検討する。さらに、これからの情報化時代を支える超高密度な情報記録を達成する手段としてこれらのAFMによるナノ加工を応用したデータストレージ技術の研究開発の基礎検討を進め実用化の可能性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 超高密度記録媒体の形成：将来の大容量メモリーを実現するため、情報を記録する媒体として物性の異なる層を積層したナノ周期積層膜を形成する。具体的には例えば金(Au)、カーボン(C)など導電体と窒化ホウ素(BN)、酸化シリコン(SiO₂)など絶縁体からなる二種以上の材料を数原子ないし数十原

子の厚さで交互に規則正しく周期的に積層するナノ周期積層膜を形成する。この際、各層の厚さを 1nm 以下に制御し、積層周期 2nm 以下のナノ周期積層膜を実現する。

(2) ナノメータスケールのトライボ加工：ダイヤモンドなどの超硬質膜チップ、カーボンナノチューブチップを用いトライボ作用を利用した超微細加工を実現する。さらに媒体の深さ方向に情報を記録する同一箇所への多値記録を行うため、ナノ周期積層膜の積層単位のトライボ加工を実現する。

(3) 記録情報の再生法の検討：ナノ周期積層膜の積層単位に加工された情報を再生する方法として、積層した異物質の物性の差から読みとる方法を実現する。具体的には①形状差、②粘弾性（動的変形）特性の差、③摩擦力の差、④電気抵抗の差などを評価し、読みとり感度、精度、信頼性を評価し、適切な方法を見いだす。

4. 研究成果

(1) 超高密度記録用ナノ周期積層膜等の形成

①ナノ周期積層膜および極薄ダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜の形成：情報を記録する媒体として物性の異なった層を積層した薄膜を形成することとし、極薄膜ダイヤモンドライクカーボン膜の形成実験などの各種検討の結果、カーボン(C)を用いると均一な極薄膜を形成可能であることを明らかにし、ナノ周期積層膜として(Si/C)、(C/BN)、(C/Au)膜を形成した。ここで(Si/C)、(C/BN)膜については 1nm 膜厚の積層膜を実現した。さらに 1nm 以下の膜の物理特性を明らかにするため形成時間を変化させ目標膜厚 0.01~1nm に変化させた DLC 膜を新たに形成し、0.8nm 以上で欠陥の少ない均一な膜が得られることを明らかにした。

②薄膜のナノ機械特性評価：ナノ周期積層膜、極薄 DLC 膜について原子間力顕微鏡(AFM)を

用い、ナノインデンテーション、ナノ摩耗等のナノメータスケールの評価を進め、極薄膜の力学的な物性値の変化を明らかにした。

(2) 超高密度記録のためのナノ加工特性の検討

①層単位の加工：原子間力顕微鏡 (AFM) でダイヤモンドチップを用いてナノ周期積層膜の境界部の欠陥進展防止効果を活用して、

(BN/C)、(C/BN) ナノ周期積層膜について 1 層毎の加工を実現した。さらに複数層の加工を実現するためナノ周期積層膜について AFM を活用し、工具であるチップに対して試料を垂直及び水平方向に振動させる振動ナノ加工実験を進め、(C/BN)ナノ周期積層膜につづき(Si/C)膜についても 1 層以下の機械加工を実現した。しかしこの場合、塑性変形による加工範囲の増大が見られた。

②DLC 膜形成 Si および(Si/C)積層膜のトライボ加工：膜厚 1 nm の DLC 膜を形成した Si について、トライボ作用により表面が隆起する現象が見られた。図 1 (a), (b)に形状とその断面図を示す。

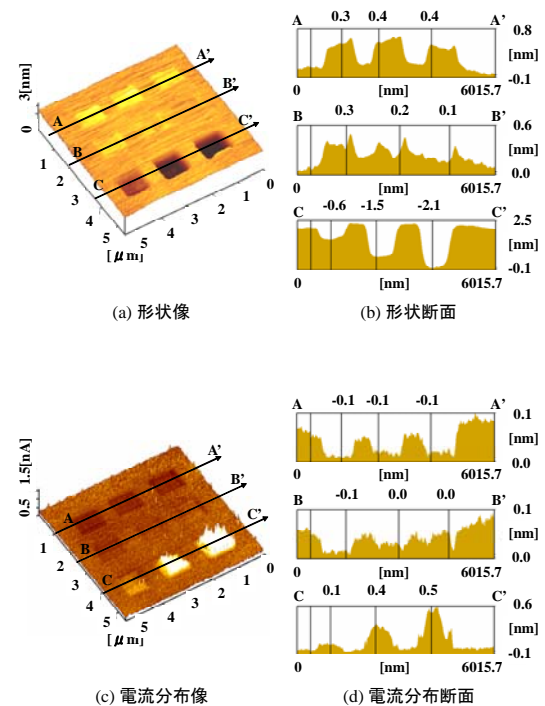


図 1 Si の酸化作用による DLC/Si の隆起現象

振動なし A-A' および縦振動付加 B-B' では加工面は隆起している。これは Si のナノ加工で見られる現象と同様であり、トライボケミカル反応により Si 表面が酸化している。一方、横振動を付加した場合には、溝が形成され、加工深さは増大している。図 1 (c), (d) に加工部の電流像を示す。振動のない A-A' および縦振動を加えた B-B' では加工部の電流像が減少しており、下地の Si が酸化され電流が通り難いことを示している。一方、横振動を加えた C-C' では加工深さが深いと対応して加工部の電流像が増大している。この様に振動を付加することにより、機械加工、トライボケミカル加工など各種のナノ加工を実現できる。

③導電性工具(チップ)によるナノ加工: ボロンドープダイヤモンドおよび導電性カーボンナノチューブ(CNT)チップを用い放電とトライボ作用を併用したエレクトロ・トライボケミカルナノ加工を実現し微細化を進めるため DLC 膜についてナノ加工特性を評価した。電圧付与により生じる隆起形状と摩擦像、電流像の関係を明らかにした。

(3) 記録情報の再生法の検討

ナノ周期積層膜の積層単位に加工された情報を再生する方法として、形状差、摩擦力の差、電流分布の差を評価し、極薄 DLC 膜および(C/BN)(Si/C)系のナノ周期積層膜について加工部との差を評価できた。具体的には、図 2 の例に示すようなナノ加工を実現し、層間の物性の差として例えば電流像で加工形状を示すことができた。これらの結果、超高密度メモリーを実現できる可能性を明らかに出来た。さらに本申請で取り上げたトライボ作用を利用したナノ加工はメモリーのみではなくナノテクノロジー分野の加工として活用できる。各種物性差を利用した再生法はナノデバイスに発展する可能性がある。

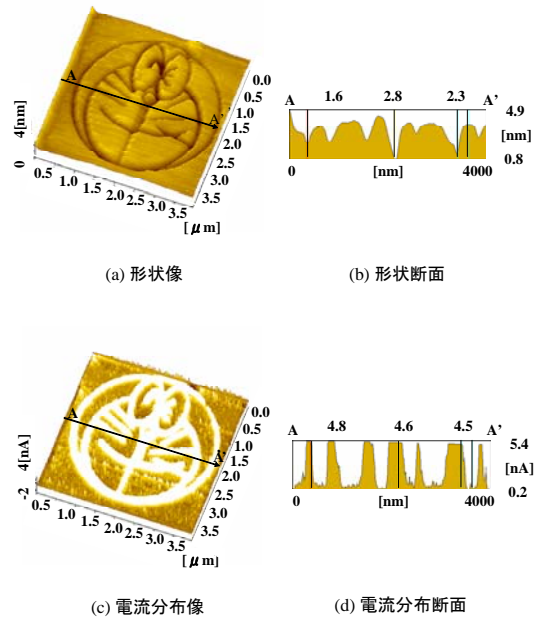


図 2 ナノ周期積層膜 ナノ加工 観察結果
(4nm 周期 (C/BN) 積層膜)

また、トライボ作用を活用したナノ加工は摩耗量を原子スケールで計測・制御することになり、原子単位の摩耗などナノトライボロジー現象を明らかにできると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

- ① 黒坂渡, 三宅正二郎, 紫外線照射処理及び熱処理した磁気ディスク潤滑膜の機械的特性の評価, 表面技術, 60, 2, 64-68 (2009). 査読あり
- ② 三宅正二郎, 松本安哲, 押元幸一, 黒坂渡, 極薄ダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜のマイクロトライボロジー特性, トライボロジスト, 53, 827-834 (2008). 査読あり
- ③ S. Miyake, M. Komiya, W. Kurosaka, Y. Matsumoto, Y. Saito, Y. Yasuda, Y. Okamoto: Boundary lubrication characteristic of metal-containing

- diamond-like carbon (DLC) films with poly alpha olefin (PAO) lubricant, Tribology Online, 3 310-315 (2008). 査読あり
- ④ M. Sakurai, T. Toihara, M. Wang, W. Kurosaka, S. Miyake: Surface morphology and mechanical properties of nanoscale TiAlN/SiNx multilayer coating deposited by reactive magnetron sputtering, Surf. Coat. Technol., 203 171-179 (2008). 査読あり
- ⑤ S. Miyake, H. Zheng, J. Kim, and M. Wang: Nanofabrication by mechanical and electrical processes using electrically conductive diamond tip, J. Vac. Sci. Technol. B, 26, 5, 1660-1665 (2008). 査読あり
- ⑥ 三宅正二郎, 黒坂渡, ナノ周期積層固体潤滑膜, トライボロジスト, 53, 11, 23-28 (2008). 査読なし
- ⑦ S. Miyake, H. Hashizume, W. Kurosaka, M. Sakurai, M. Wang: Deposition and tribology of carbon and boron nitride nanoperiod multilayer solid lubricating films, Surf. and Coat. Technol., 202, 4-7, 1023-1028 (2007). 査読あり
- ⑧ 三宅正二郎, DLC膜・ダイヤモンド膜の製作技術と適用動向 トライボロジスト 52, 1, 34-39 (2007). 査読なし
- ⑨ 三宅正二郎, トライボロジー作用を活用したナノメータスケールの加工とその応用展開 真空 50, 2 (2007) 89-95. 査読なし
- ⑩ 三宅正二郎, 表面のナノ力学特性評価, 精密工学会誌 73, 8 (2007) 859-863. 査読なし
- ⑪ 三宅正二郎, 黒坂渡, ナノメータスケールの機械加工とその AFM メモリーへの応用 日本工業大学研究報告 37, 2 (2007) 497-500. 査読なし
- [学会発表] (計 28 件)
- ① 金沢年郎, 押本幸一, 三宅正二郎, 極薄膜ダイヤモンドライカーボン膜の原子間力顕微鏡により評価したナノ摩耗特性 トライボロジー会議予稿集 2009-5, 2009年5月19日, 東京.
- ② 黒坂渡, 押本幸一, 三宅正二郎, 各種潤滑油形成磁気ディスクのトライボロジー特性の温度依存性 トライボロジー会議予稿集 2009-5, 2009年5月19日, 東京.
- ③ 斎藤雄太, 黒坂渡, 松本安哲, 三宅正二郎, 金属添加水素フリーダイヤモンドライカーボン膜とダイヤモンド膜の境界潤滑特性 トライボロジー会議予稿集 2009-5 2009年5月18日, 東京.
- ④ 川崎信太郎, 松本安哲, 黒坂渡, 三宅正二郎, 極薄膜ダイヤモンドライカーボン膜の荷重増減摩擦試験による評価 トライボロジー会議予稿集 2009-5, 2009年5月18日, 東京.
- ⑤ W. Kurosaka, S. Miyake, Nanometer scale mechanical property evaluation of various cured lubricant and DLC film coated magnetic disk by force modulation atomic force microscopy, Proc. of 35th Inter. conf. on coat., (2009), 2009年4月30日, pp.93, San Diego, USA.
- ⑥ S. Miyake, W. Kurosaka, K. Oshimoto: Nanometer-scale mechanical properties of extremely thin diamond-like carbon films, 3rd Vienna International Conference nano-technology viennano 09, (2009), 2009年3月20日, pp.381-386, Vienna, Austria.
- ⑦ T. Leming, K. Mituyoshi, W. Kurosaka,

- S. Miyake, Tribology of gold and fluorinate carbon nanometer period multilayer films, Proceeding of JAST Tribology Conference Nagoya 2008-9, 2008年9月18日, pp. 61-62
- ⑧ 齊藤雄太, 黒坂渡, 松本安哲, 三宅正二郎, コバルト,セリウム等を添加したダイヤモンドライクカーボン膜の境界潤滑特性, トライボロジー会議予稿集 2008-9, 2008年9月18日, pp. 63-64 名古屋.
- ⑨ 松本安哲, 押元幸一, 黒坂渡, 三宅正二郎, 金鍾得, ナノ膜厚 DLC 膜のナノ摩耗および微小荷重摩擦特性, トライボロジー会議予稿集 2008-9, 2008年9月17日, pp. 425-426 名古屋.
- ⑩ 押元幸一, 黒坂渡, 金沢年郎, 三宅正二郎, 各種潤滑油を形成した磁気ディスクの摩擦耐久性, トライボロジー会議予稿集 2008-9, 2008年9月17日, pp. 427-428 名古屋.
- ⑪ 黒坂渡, 川崎信太郎, 三宅正二郎, 各潤滑油形成磁気ディスク摩擦摩耗特性の温度依存性, トライボロジー会議予稿集 2008-9, 2008年9月17日, pp. 429-430 名古屋.
- ⑫ 松本安哲, 黒坂渡, 押元幸一, 三宅正二郎, 極薄膜 DLC のトライボロジー特性の膜厚依存性, トライボロジー会議予稿集 2008-5, 2008年5月15日, pp. 103-104 東京.
- ⑬ 三宅正二郎, 小宮光貴, 黒坂渡, 齊藤雄太, 安田芳輝, 岡本祐介, 金属添加水素フリーDLC膜の境界潤滑特性, トライボロジー会議予稿集 2008-5, 2008年5月15日, pp. 239-240 東京.
- ⑭ 黒坂渡, 押元幸一, 湯楽明, 三宅正二郎, 各種キュア処理を行った磁気ディスク摩擦面の評価, トライボロジー会議予稿集 2008-5, 2008年5月15日, pp. 105-106 東京.
- ⑮ 押元幸一, 黒坂渡, 松本安哲, 三宅正二郎, 金鍾得, 極薄膜 DLC のスクラッチ特性, トライボロジー会議予稿集 2008-5, 2008年5月15日, pp. 101-102 東京.
- ⑯ 黒坂渡, 松本安哲, 三宅正二郎, 桜井正俊, 戸井原孝臣, W. Mei, TiAlN/SiN 積層膜のトライボロジー特性, トライボロジー会議予稿集 2008-5, 2008年5月14日, pp. 223-224 東京.
- ⑰ 押元幸一, 黒坂渡, 金鍾得, 三宅正二郎, DLC 極薄膜のナノ摩耗特性, トライボロジー会議予稿集 2007-9, 2007年9月28日, pp. 461-462 佐賀.
- ⑱ 松本安哲, 小宮光貴, 黒坂渡, 三宅正二郎, DLC 極薄膜の直進往復摩擦摩耗特性, トライボロジー会議予稿集 2007-9, 2007年9月28日, pp. 463-464 佐賀.
- ⑲ 小宮光貴, 鈴木学, 三宅正二郎, 軟質金属系ナノ周期積層膜の形成とトライボロジー特性, トライボロジー会議予稿集 2007-9, 2007年9月28日, pp. 475-476 佐賀.
- ⑳ 黒坂渡, 三宅正二郎, 桜井正俊, 戸井原孝臣, W. Mei, スパッタリングで形成した TiAlN/SiN 膜の表面形態とトライボロジー, トライボロジー会議予稿集 2007-9, 2007年9月28日, pp. 477-478 佐賀.
- ㉑ 黒坂渡, 三宅正二郎, 直進往復摩擦摩耗試験による磁気ディスク表面の損傷評価, トライボロジー会議予稿集 2007-9, 2007年9月28日, pp. 479-480 佐賀.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三宅 正二郎 (MIYAKE SHOJIRO)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：70229813

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし