

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25390106

研究課題名(和文)多値多層記録と超解像再生を同時に達成するInSb不定比酸化物薄膜の作製と機構評価

研究課題名(英文)Preparation and evaluation of In-Sb-O film to be used for multi-level multi-layer recording and super-resolution readout

研究代表者

島 隆之(Shima, Takayuki)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・電子光技術研究部門・主任研究員

研究者番号：10371048

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：光ディスクの記録層多層化と超解像再生の組み合わせを目指した研究を実施した。具体的には、超解像再生が可能なInSbを起点に、その酸化物(In-Sb-O)に着目して、記録と超解像再生の検討を行った。酸化物とすることにより光透過性が増し、多層化が可能となった。ZnS-SiO<sub>2</sub>薄膜で挟んだ状態では、加熱に伴い膜厚が増加し、記録の一因となることがわかった。900℃で熱処理を行ったIn-Sb-O薄膜については、室温と600℃の間で可逆的な光学的変化が観測された。この変化は、バンドギャップシフトに由来し、超解像再生の起源となることが考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have studied on a combination of multi-layer recording and super-resolution readout of an optical disk. In-Sb-O was selected for the purpose since InSb is a well-known material for the super-resolution readout. By making an oxide of In-Sb, it was possible to make the film nearly transparent, and the multi-layer stacking became possible. When In-Sb-O film is sandwiched by ZnS-SiO<sub>2</sub> films, the total film thickness increased when heated, and it is thus possible to do the optical recording. After annealing at 900 °C, the In-Sb-O film showed a reversible optical-property change between the temperatures of room temperature and 600 °C. This change is probably related to the bandgap shift of the material, and it may be the origin of super-resolution readout.

研究分野：光記録、光センサ

キーワード：光記録 酸化物 情報アーカイブ

### 1. 研究開始当初の背景

光ディスクは対容量コストが低く、可搬で頒布可能な特長がある。記録の保持寿命はHDやUSBメモリでは10年とされるのに対し、光ディスクの寿命は30-100年と長い。スマートフォンの普及で情報通信量が急増する一方、低炭素社会を実現するため、及び原子力発電所が停止したため、社会全体で節電の実施が強く求められている。同じデータを大量頒布する場合や、不要不急のデータをアーカイブ保存する場合に、光ディスクを積極利用することは、節電の有効な解決策となる。但し市販化されている光ディスクの容量は128GB(記録層4層)に止まり、ハンドリング向上のためこれを1TBに引上げることが喫緊の課題となっている。超多層化(>10層)や新技術(ホログラム、2光子吸収等)の導入が検討されるが、どれも実用化に至っていない。

### 2. 研究の目的

記録層多層化は容量を増やす有効な手段であるが、層数が増えるに従い、媒体の製造歩留まりは低くなると予想される。面当たりの容量が増える超解像再生と適切に組み合わせれば、層数減で歩留まりが向上しつつ大容量化できるが、そのためには超解像再生に適した材料(InSb等)の光透過性を高め、より奥層まで光を届ける必要がある。組合せ可否を検討する中で超解像再生材料の酸化物(In-Sb-O)に着目した。これまでに、ZnS-SiO<sub>2</sub>/In-Sb-O/ZnS-SiO<sub>2</sub>を多層化したときに、記録と超解像再生が可能となる実験結果が得られた。本研究ではこのIn-Sb-Oについて、記録及び超解像再生に相当する加熱が、構造及び光学的な特性に与える影響を明らかにするため、同材料の基礎的な物性評価を中心に検討を行う。

### 3. 研究の方法

In-Sb-O薄膜は、RFマグネトロンスパッタリング法により室温で成膜した。ターゲットは、直径3インチのIn<sub>20</sub>Sb<sub>20</sub>O<sub>60</sub>に5mm角のInSbチップを4個貼付したものをを用いた。ラザフォード後方散乱分光法により求めた薄膜の組成比は、In<sub>20.9</sub>Sb<sub>16.9</sub>O<sub>62.2</sub>であった。また波長405nm付近の屈折率は、 $n = 2.4 - 2.6$ 、 $k = 0.1 - 0.5$ であり、InSbに比べて光透過性は高くなった。研究はこの薄膜を用い、加熱時あるいは加熱後の構造及び光学的な特性を評価した。

### 4. 研究成果

#### (1) 記録機構

In-Sb-O薄膜(膜厚:200nm)をSiO<sub>2</sub>基板上に成膜したサンプルについて、光を薄膜側から照射し、昇温中(20°C/分、室温~600°C)に反射光(波長:405nm)の測定を行ったところ、その強度が一旦減少した後に増加する不可逆な変化を示した。このことから、前記

温度範囲で光学的な記録が可能であることがわかった。その記録原理を調べるため、X線回折測定と蛍光X線元素分析を行った。加熱前後で、In-Sb-O薄膜はアモルファス状態のままであり、その組成比もほぼ変化しなかったことから、有意な変化を観測するには至らなかった。

一方、ZnS-SiO<sub>2</sub>/In-Sb-O(膜厚:20nm)/ZnS-SiO<sub>2</sub>を600°Cで10分間加熱したところ、図1に示すように、その総膜厚が加熱前後でやや増加する傾向が認められた。ZnS-SiO<sub>2</sub>薄膜(膜厚:200nm)やIn-Sb-O薄膜(膜厚:200nm)を単独で加熱したときの変化はごくわずかであったことから、In-Sb-OとZnS-SiO<sub>2</sub>の界面での反応に由来する影響と考えられる。膜厚が変化(増加)すれば、反射率等の光学特性は変化すると期待される。光ディスク試料においては、この膜厚変化が記録に係わっていることが考えられる。

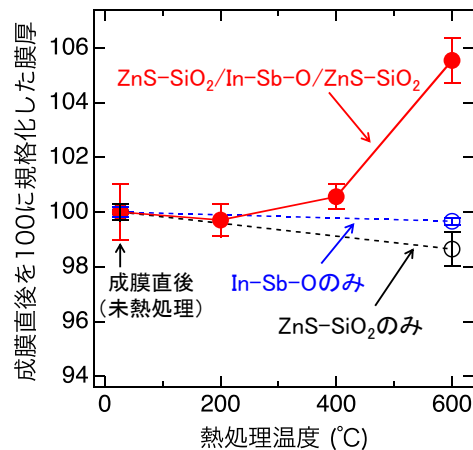


図1 膜厚の熱処理温度依存性

#### (2) 超解像再生機構

In-Sb-O薄膜(膜厚:200nm)をSiO<sub>2</sub>基板上に成膜したサンプルについて、予め900°Cで2時間の熱処理を行った。図2に、この熱処理済みサンプルの透過光強度を、室温のとき(黒線)、600°C加熱時(赤線)、室温まで冷却したとき(青線)、の順に測定した結果を示す。室温の2つのスペクトルはほぼ重なっていることから、図2は可逆的な変化を観測していることがわかる。波長380nmより短い波長は、光源あるいは光検出器を適切に選択できていない可能性があることを記しておく。但し光ディスクの再生に用いる波長405nmについては、昇温時に透過光強度が減少する変化を観察することができている。

InSbO<sub>4</sub>のバンドギャップは3.63eV(=342nm)であること[1]と、半導体のバンドギャップは温度が高くなると長波長側にシフトすることから、図2の結果は、In-Sb-Oの半導体的性質を反映した光学的変化であると考えられる。山本らは過去に、ZnOのバンドギャップシフトを利用した超解像再生方法を提案しており[2, 3]、本研究においても、

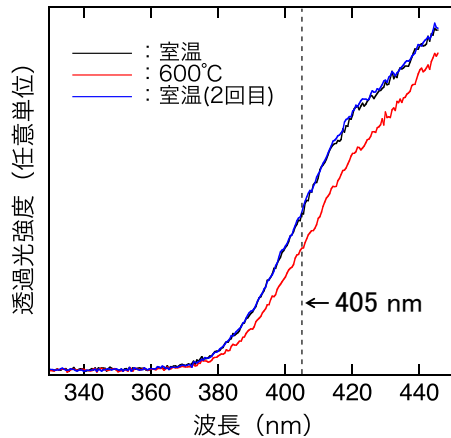


図2 In-Sb-0 薄膜加熱時の透過光強度変化

それと同様の機構で超解像再生が実現されたと考えられる。図3は、ZnS-SiO<sub>2</sub>/In-Sb-0 (膜厚 20 nm)/ZnS-SiO<sub>2</sub> を光ディスク基板上に成膜し、カバー層を形成後、ブルーレイの光学系 (レーザ光波長  $\lambda = 405$  nm、開口数 NA = 0.85) で、解像限界  $\lambda/4NA (= 119$  nm) よりもやや短い 113 nm のモノトーンマークを (記録及び) 再生した結果である。比較として、引用文献2の Fig. 7に記載の ZnO の結果を読み取ってプロットしたものも示す。In-Sb-0系と ZnO系はともに、再生パワーを上げるに連れ、搬送波対雑音比 (CNR, Carrier to Noise Ratio) が徐々に増加する傾向を示した。In-Sb-0の超解像再生は、バンドギャップシフトに由来していることが支持される。また、InSbを用いた超解像再生では、再生パワーを上げて InSb が熔融したときに、CNR が急激に増加する特性を示す [4] が、In-Sb-0とは再生機構が異なることも確認される。

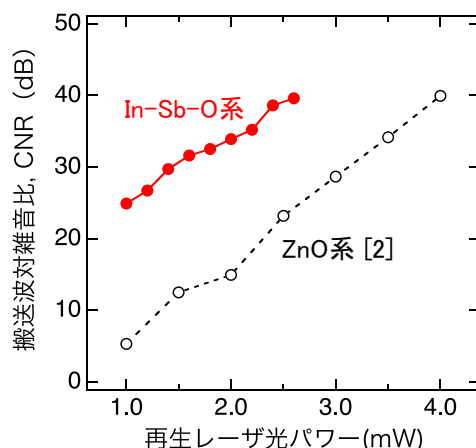


図3 超解像再生特性の比較  
In-Sb-0系 (本研究)、ZnO系 (引用文献2)

<引用文献>

[1] N. Kikuchi *et al.*, Vacuum 65 (2002) 81.  
[2] M. Yamamoto *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys.

43 (2004) 4959.

[3] G. Mori *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 44 (2004) 3627.

[4] B. Hyot, Phys. Status Solidi B 249 (2012) 1992.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計7件)

① H. Sano, T. Shima, M. Kuwahara, Y. Fujita, M. Uchiyama, and Y. Aono, Response function of super-resolution readout of an optical disc studied by coupled electromagnetic-thermal simulation, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 掲載決定

② K. Nakai, M. Ohmaki, N. Takeshita, M. Shinoda, and T. Shima, Track Error Detection System with Waveform Comparison Method for Super-Resolution Optical Read-Only-Memory Disc, IEEE Trans. Consum. Electron., 査読有, 60, 2014, 356-362, DOI:10.1109/TCE.2014.6937318

③ H. Sano, T. Shima, M. Kuwahara, Y. Fujita, M. Uchiyama, and Y. Aono, Study of the shape of an optical window in a super-resolution state by electromagnetic-thermal coupled simulation: Effects of melting of an active layer in an optical disc, J. Appl. Phys., 査読有, 115, 2014, 153104 (6頁), DOI:10.1063/1.4871858

④ T. Shima, M. Kuwahara, H. Sano, Y. Fujita, M. Uchiyama, and Y. Aono, An Attempt of Combining Super-Resolution and Multi-Layer Stacking Technologies for Achieving Higher Recording Capacity, Proceedings of the 25th Symposium on Phase Change Oriented Science, 査読有, 2013, 53-56  
[http://www.jpccos.jp/Paper&Academic\\_et\\_c/PCOS2013Papers/Oral/S51.pdf](http://www.jpccos.jp/Paper&Academic_et_c/PCOS2013Papers/Oral/S51.pdf)

⑤ K. Nakai, M. Ohmaki, N. Takeshita, B. Hyot, B. André, L. Poupinet, and T. Shima, Super-Resolution Optical Disc with Radial Density Increased by Narrow Track Pitch Corresponding to Diffraction Limit, Jpn. J. Appl. Phys., 査読有, 52, 2013, 09LB03 (5頁), DOI:10.7567/JJAP.52.09LB03

⑥ M. Kuwahara, R. Endo, K. Tsutsumi, F. Morikasa, M. Suzuki, T. Shima, M. Susa, T. Endo, T. Tadokoro, and S. Hosaka, Spectroscopic Ellipsometry Measure

ments for Liquid and Solid InSb around Its Melting Point, Appl. Phys. Express, 査読有, 6, 2013, 082501(4頁), DOI:10.7567/APEX.6.082501

- ⑦ 佐野陽之、島隆之、桑原正史、藤田宜也、内山宗久、青野嘉幸、光ディスクの超解像再生の物理シミュレーション、映像情報メディア学会技術報告、査読無、37、2013、23-25

[学会発表] (計8件)

- ① H. Sano, T. Shima, M. Kuwahara, Y. Fujita, M. Uchiyama, and Y. Aono, Study on Response Function of Super-Resolution Readout of an Optical Disc by Multi-Physics Simulation, International Symposium on Optical Memory, 2015年10月6日, 富山国際会議場 (富山県富山市)
- ② 佐野陽之、島隆之、桑原正史、藤田宜也、内山宗久、青野嘉幸、超解像再生の連成物理シミュレーション解析Ⅱ、第61回応用物理学会春季学術講演会、2014年3月17日、青山学院大学 (神奈川県相模原市)
- ③ K. Nakai, M. Ohmaki, N. Takeshita, M. Shinoda, and T. Shima, Track Error Detection System with Dual Phase Difference for Super-Resolution Optical ROM Disc, 32nd International Conference on Consumer Electronics, 2014年1月13日, Las Vegas (USA)
- ④ T. Shima, M. Kuwahara, H. Sano, Y. Fujita, M. Uchiyama, and Y. Aono, An Attempt of Combining Super-Resolution and Multi-Layer Stacking Technologies for Achieving Higher Recording Capacity, The 25th Symposium on Phase Change Oriented Science, 2013年11月29日, ホテル瑞鳳 (宮城県仙台市)
- ⑤ H. Sano, T. Shima, M. Kuwahara, Y. Fujita, M. Uchiyama, and Y. Aono, Multi-physics simulation of super-resolution effect in an optical disk, The 25th Symposium on Phase Change Oriented Science, 2013年11月28日, ホテル瑞鳳 (宮城県仙台市)
- ⑥ 佐野陽之、島隆之、桑原正史、藤田宜也、内山宗久、青野嘉幸、超解像再生の連成物理シミュレーション解析、第74回応用物理学会秋季学術講演会、2013年9月17日、同志社大学 (京都府京田辺市)
- ⑦ 佐野陽之、島隆之、桑原正史、藤田宜也、内山宗久、青野嘉幸、光ディスクの超解像

再生の物理シミュレーション、映像情報メディア学会マルチメディアストレージ研究会、2013年6月21日、東北大学 (宮城県仙台市)

- ⑧ K. Nakai, M. Ohmaki, N. Takeshita, M. Shinoda, H. Nakayama, T. Shima, T. Nakano, and J. Tominaga, High-frequency Modulating Laser to Reduce Light Power on Super-resolution High Density Optical Disc with Sb-Te active film, The 2nd Advanced Lasers and Photon Sources, 2013年4月25日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)

[図書] (計1件)

- ① 島隆之、シーエムシー出版、Super-RENS、2014、152-165

[産業財産権]

○取得状況 (計2件)

名称: 超解像再生光記録媒体及びその超解像再生方法

発明者: 島隆之

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許第5700533号

取得年月日: 平成27年2月27日

国内外の別: 国内

名称: 熔融材料の光学測定装置および光学測定方法

発明者: 桑原正史、深谷俊夫、島隆之、富永淳二、遠藤理恵、須佐匡裕、堤浩一、鈴木道夫

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許第5553374号

取得年月日: 平成26年6月6日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島隆之 (SHIMA TAKAYUKI)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・

電子光技術研究部門・主任研究員

研究者番号: 10371048