

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「光を用いた微小構造評価装置の高度化及び多機能化」

研究開発成果等報告書

平成25年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 公益財団法人浜松地域イノベーション推進機構

目次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-2 研究体制

1-3 成果概要

【1】共焦点光学系の導入

【1-1】評価光学系の開発

【1-2】試料作製と材料の基礎特性評価

【1-3】光学計算とシミュレーション

【2】超解像技術の導入

【2-1】試料作製と材料の基礎特性評価

【2-2】光学計算とシミュレーション

【3】評価装置製作

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

【1】共焦点光学系の導入

【1-1】評価光学系の開発

【1-2】試料作製と材料の基礎特性評価

【1-3】光学計算とシミュレーション

【2】超解像技術の導入

【2-1】試料作製と材料の基礎特性評価

【2-2】光学計算とシミュレーション

【3】評価装置製作

第3章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

放送や公文書等のアーカイブ用途には、500 ギガバイト以上の大容量光ディスクが求められているが、現在は 300 ギガバイトまでの光ディスク評価装置しかない。

従来技術では、直径 12cm の光ディスクにおいて、容量で 300 ギガバイト未満の微小構造(情報ピット)までしか読み出せなかったが、本研究では共焦点と超解像の両技術を導入し、これを 500 ギガバイト以上に向上させる。

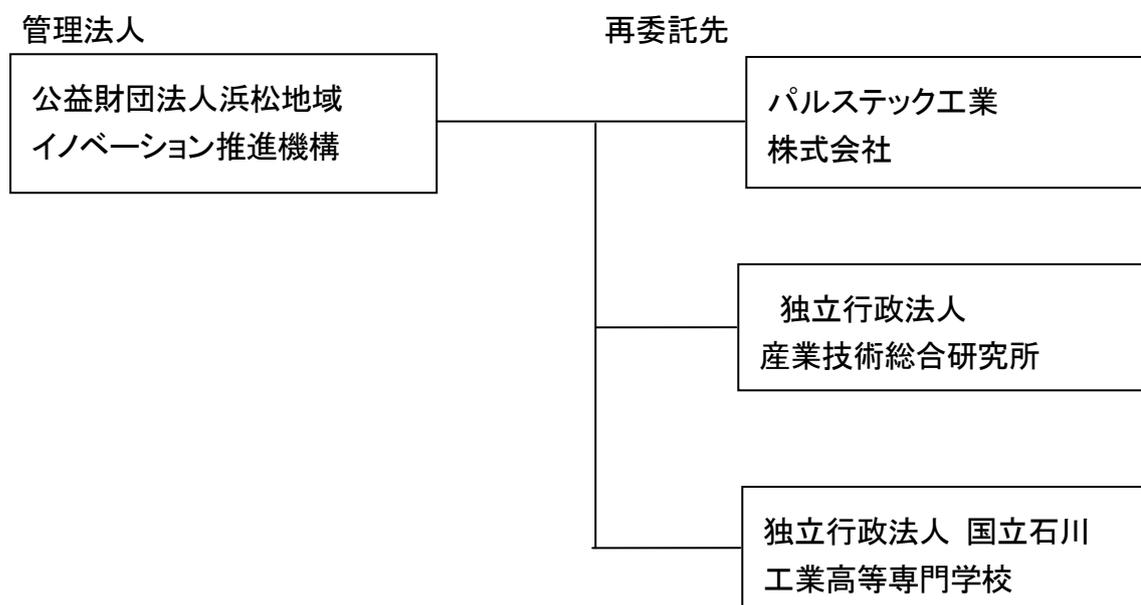
共焦点光学系について、これを構成する光学部品を現行装置と同じサイズ以下に実装した上で、記録層 15 層以上から情報を再生する。共焦点系と超解像技術を組み合わせた状態で、記録層 10 層以上から情報を再生し、またこの系において設計のための光学シミュレーションが行えるようにする。

最終的に、微小構造(ピット)を単位とする情報記録において、従来より高密度に配置したピットを光で読み出す技術を導入し、コンパクトな大容量光ディスク評価装置を製作し、各光ディスクメーカーに提供することを目指す。

1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

(1) 研究組織・管理体制

本研究開発事業は、管理法人である公益財団法人浜松地域イノベーション推進機構が関東経済産業局と締結した業務委託の原契約の延長として実際の研究開発に携わる構成機関と再委託契約を締結する形で管理した。研究全体を総括的に管理するプロジェクトリーダー(PL)とそのフォローをするサブプロジェクトリーダー(SL)を設け、アドバイザーを含めた全体で行う研究開発推進委員会を年2回、効率的に事業を進めるために研究実務者会議を年10回開催した。



(2)研究者及び管理員氏名

①研究員

パルステック工業株式会社

顧問	木下 達夫
取締役技術部長	青野 嘉幸 (プロジェクトリーダー(PL))
技術部×線応用設備課長	内山 宗久
技術部ヘルスケア・特殊設備課主査	外山 隆也
技術部×線応用設備課	藤田 宜也
技術部システム設計課	山岡 秀基

独立行政法人産業技術総合研究所

電子光技術研究部門 MZ構造制御グループ	主任研究員	島 隆之 (サブプロジェクトリーダー(SL))
----------------------	-------	----------------------------

電子光技術研究部門 MZ構造制御グループ	主任研究員	桑原 正史
----------------------	-------	-------

電子光技術研究部門 MZ構造制御グループ	主任研究員	藤巻 真
----------------------	-------	------

独立行政法人国立石川工業高等専門学校

一般教育科 教授	佐野 陽之
----------	-------

②管理員

公益財団法人浜松地域イノベーション推進機構

専務理事・事務局長	太田 純司
イノベーション戦略推進本部	河合 敏昭
総務部長	大石 篤郎
事業推進部長	内野 義光
事業推進部	米谷 俊一
事業推進部	大高 悦子

(3)協力者(アドバイザー)

日本学術振興会産学協力委員会 光エレクトロニクス第130委員会

委員長 後藤 顕也

三菱電機株式会社 先端技術総合研究所 映像伝送蓄積技術部長

三嶋 英俊

三洋電機株式会社 デバイス部門 光ピックアップビジネスユニット 第3技術グループ

担当部長 土屋 洋一

1-3 成果概要

【1】共焦点光学系の導入

【1-1】評価光学系の開発

昨年度、共焦点光学系を導入したが、ピンホールの調整機構が乏しく、微調整が非常に困難であり、評価効率が悪かった。そこで、RF系とサーボ系を分離することで、サーボを維持した状態でのRF光学系の調整を可能とした。これによりピンホール位置調整は正確に行えるようになった。

【1-2】試料作成と材料の基礎特性評価

樹脂層が白濁化したり、硬化に時間が掛かったりする問題があった。樹脂メーカーで使用している紫外線光源とのスペクトル比較を行ったところ、使用している光源では250 nm付近の発光が欠如していることがわかった。250 nm付近の発光が出力されるよう改善したところ、白濁化等の問題はほぼ解決することができた。各工夫のもと、Sbと酸素を含有する層から成る10層の光ディスク試料を作製したところ、各層にフォーカス及びトラッキングを掛けることに成功した。これにより評価装置のポテンシャルを実証することができた。

【1-3】光学計算とシミュレーション

昨年度は、共焦点光学系の信号強度を解析するため、「光ディスク内の電磁波伝播シミュレーション」と「集光レンズ系の波動光学計算」を組み合わせた新しい評価方法を開発し、隣接記録層の影響と共焦点機構の効果の評価を行った。このときのシミュレーションでは、計算用ワークステーションのメモリの制約から記録層間距離 R_d を $3.9 \mu\text{m}$ までしかとることができず、大きな層間距離における隣接記録層の影響評価を充分行うことが出来なかった。本年度は、新しい計算用ワークステーションを導入することにより、層間距離 $R_d=10 \mu\text{m}$ まで可能な大規模モデルを作成しシミュレーションを実施した。

層間距離 R_d を $2 \sim 10 \mu\text{m}$ に変えたときのシミュレーションの結果から、 $R_d > 6 \mu\text{m}$ では隣接記録層からの影響は R_d に対して単調に減少するモデルで評価できることが確認できた。このモデルは、隣接記録層からの影響が入射ビームの照射面積と記録ビット面積の比率によって決まることを示しており、層間距離が $11.5 \mu\text{m}$ 以上でも成り立つと考えられる。なお、 $R_d < 6 \mu\text{m}$ では2つの記録層内の干渉効果によって隣接記録層からの影響は R_d に対して大きく変動することも分かった。

【2】超解像技術の導入

【2-1】試料作成と材料の基礎特性評価

Sbと酸素を含有する層をZnS-SiO₂保護層で挟んだディスク試料を作製し、記録と超解像再生特性の検討を行った。常解像領域のマーク長では、CNRが約50 dB程度の良好な記録特性が得られた。解像限界を僅かに下回る112 nm付近のマーク長において、再生パワー(Pr)を上げるとCNRが上昇する傾向が確認でき、Pr=2.6 mW(線速:2.46 m/s)ではほぼ40 dBに到達し、再生波形も観測することができた。【1-2】で作製したSbと酸素を含有する層を多層化した試料においても、到達CNRは30 dBながら、超解像再生(Pr

の増加とともに CNR が上昇する)を観測することができ、多層化と超解像再生の両立を目指した評価装置製作を実証することに成功した。

【2-2】光学計算とシミュレーション

光ディスク内の電磁波伝播と熱伝導の連成シミュレーションを行い、機能層(InSb)の膜厚を変えたときの超解像状態への影響評価を行った。超解像現象が起こると機能層の少し下の光強度分布は回折限界より細くなる。この強度分布は、機能層の膜厚が 10nm 以下ではあまり細くならず、25nm 以上では 2 重ピークで強度が非常に小さくなるのが計算で示された。これらの結果から、超解像に最適な InSb 層の膜厚は 20nm 弱程度であることが分かった。

InSb を機能層とした場合の微小記録ピット構造の再生シグナルシミュレーションを行った。ピット幅 80nm の単一ピット又はこれを連結したピット列を、モデルとなるディスク構造内で少しずつ移動させながら反射光シグナル強度を計算した。シグナル強度の計算結果から応答関数を求めたところ、超解像状態の応答関数は超解像なしの場合より高い空間周波数を持ち、より微小なピットを識別する能力を持つことを確認した。また、応答関数から様々なピットパターンに対する予測シグナルを求めた。

【3】評価装置製作

各記録層の反射率の差を考慮して、指定層にアクセスする機能を追加し、多層ディスクへのサーボかけ分け機能を実現した。また、前述(【1-1】)のとおり、ピンホールの調整機構を見直し、正確な位置出しができるようになった。また、ミラー積層ディスクにおいて連続記録した際に、記録トラックピッチが不均一になる問題を解決するためにスレッドサーボ機構をボールネジからリニアステージに変更するとともに、制御方法も見直すことでその問題を解決した。

産業技術総合研究所より提供された試料を使い、10 層ディスク評価が可能なこと、超解像機能膜を有するサンプルで、超解像再生が可能なことを確認し、500GB 以上の容量を有する光ディスクの評価が可能なことを実証した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人 浜松地域イノベーション推進機構

事業推進部 米谷 俊一

〒432-8036 静岡県浜松市中区東伊場二丁目 7 番 1 号

TEL:053-489-8111 FAX:053-450-2100

E-mail:kometani@hai.or.jp

第2章 本論

【1】共焦点光学系の導入

【1-1】評価光学系の開発

昨年度ピックアップヘッドに共焦点光学系を搭載したが、調整機構の制約から数 μ mレベルの光学調整ができず、ピンホールの評価が困難であった。そこで、ピンホール挿入位置の変更とともに、XY微調整機構、折り返しミラーチルト調整機構を追加した。

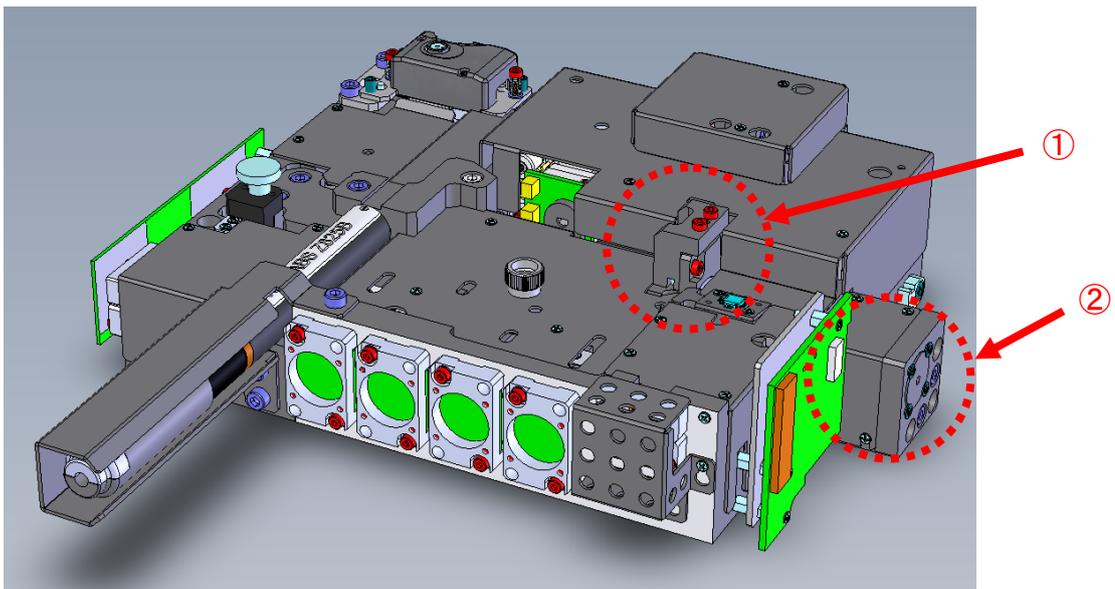
また、ミラーディスクに連続記録をした際に、記録トラックピッチが不均一になる現象が発生した。そこで、フィード機構をボールネジからリニアステージに変更し、加えて制御方法の見直しを実施した。

①ピンホール調整機構の追加

以下に新評価光学系の外観図を示す。

- ① ピンホール X/Y 微調整機構
- ② 折り返しミラーチルト調整機構

新評価光学系の 3D CAD 図



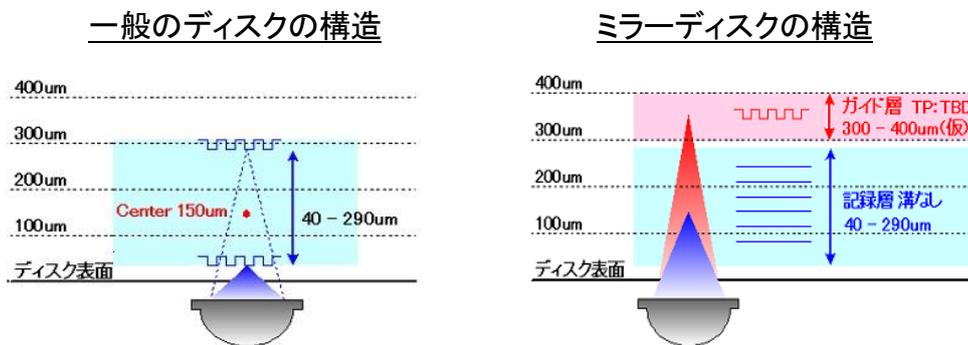
新機構の追加は全て完了し、動作確認済みである。ピンホールの搭載効果については後述する。

②スレッドサーボの見直し

※ スレッドサーボとはスパイラル状に溝のある一般的なディスクに連続記録する際に内周から外周に記録ヘッド(もしくはディスク)を進める制御のこと。

次頁に一般のディスクとミラーディスクの構造の違いを示す。一般のディスクでは、トラックサーボのためのガイドが全記録層にあるため、レンズが高速追従でき、連続記録で問題が発生しない。

しかし、ミラーディスク(ガイド層ディスクとも呼ぶ)の場合は、ガイドは 1 層にしかなく、ガイド層と記録層が異なるため、連続記録時にトラックピッチにムラが発生することがわかった。



その問題を解決するために、評価装置のフィード機構をボールネジからリニアステージに変更し、制御方法の見直しも行った。リニアフィードの効果の確認については後述する。

【1-1】のまとめ

昨年度までに評価装置が抱えていた問題(ピンホール調整の難しさ、ミラーディスクでの連続記録時の問題点)についてハードウェアの変更により問題解決を試みた。詳細な効果の確認については後述するが、所望の効果が確認できた。

【1-2】試料作成と材料の基礎特性評価

評価光学系の開発を行うため、記録層間距離を 1~10 μm、層数を最大 10 層まで有するディスク試料を作製した。

10 層試料の設計値を以下に示す。

- ・ 記録層: ZnS-SiO₂ / Sb と酸素を含有する化合物 / ZnS-SiO₂
- ・ Sb と酸素を含有する化合物の酸素比は一条件(消衰係数 k=0.5)で、各層膜厚のみ変化させた。設計は菊川らの文献を参考に行った。設計膜厚は以下のとおり(レーザ光入射側から、単位 nm)。

L9 層:122/5/34 L8 層:121/5.5/34 L7 層:120/6/34 L6 層:119/6.5/34

L5 層:117/7/34 L4 層:115/8/34 L3 層:113/9/34 L2 層:109/11/34

L1 層:103/14/34 L0 層:91/20/34 L-1 層:Ag を主成分とする化合物

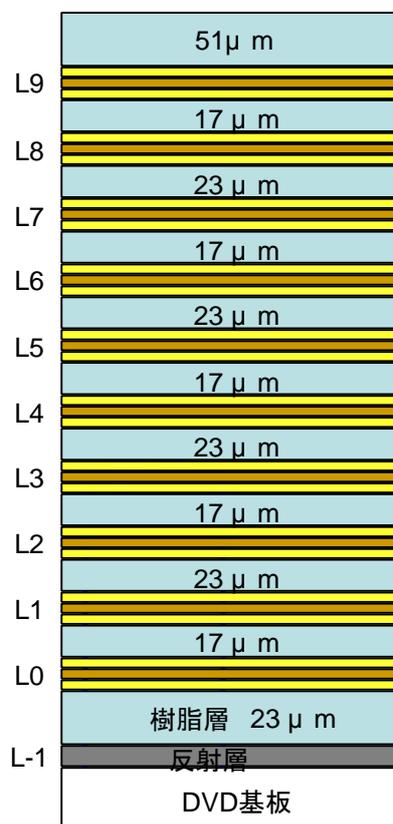
菊川らの文献
(参考文献)

Blu-ray Disc システムベースによるビット記録用追記型多層記録メディアの開発動向
菊川 隆, 井上 素宏, 小須田 敦子, 丑田 智樹, 光学, Vol.40, ISS.11, p.582-587(2011 年 11 月)

各層の反射率などの光学設計値は以下のとおり。

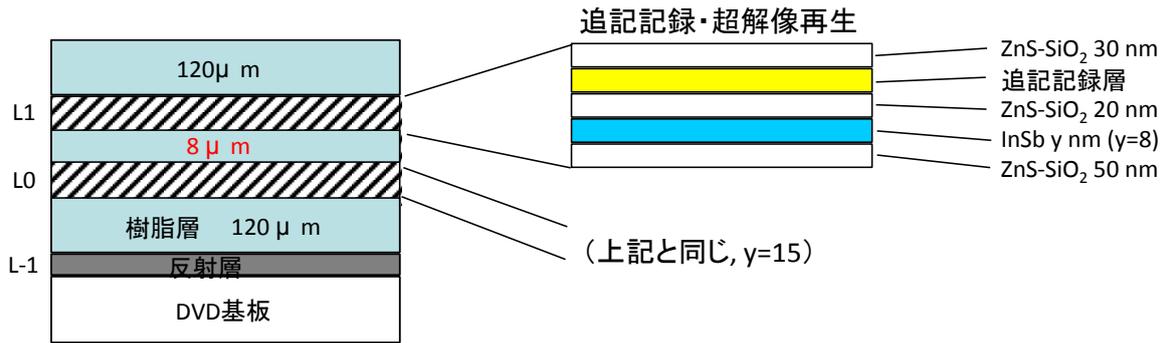
記録層 Layer	各層			多層化時	
	反射率 r n (%)	透過率 t n (%)	吸収率 a n (%)	反射率 R n (%)	吸収率 A n (%)
L9	1.704	92.948	5.348	1.70400	5.34800
L8	1.963	92.225	5.812	1.69590	5.40214
L7	2.243	91.492	6.265	1.64819	5.37044
L6	2.547	90.746	6.707	1.56665	5.26017
L5	3.445	89.458	7.097	1.74497	5.05096
L4	4.214	87.865	7.921	1.70817	5.04311
L3	5.063	86.230	8.707	1.58444	4.87083
L2	6.969	82.851	10.180	1.62165	4.91067
L1	10.180	77.620	12.200	1.62603	4.87585
L0	16.500	67.520	15.980	1.58786	4.95725

試料構造は以下のとおり。記録層間のギャップ長は隣接層からのクロストークを低減するために不均一にしている。



本サンプルを使って評価装置の多層ディスクへのサーボかけ分け機能の確認を行った。その結果、全ての層にアクセスすることに成功した。これにより、本評価装置が有するサーボかけ分け機能が、10層サンプルディスクに対して正常に動作できることが実証された。

次に狭層間試料について説明する。試料構造は以下のとおり。



各層の反射率などの光学設計値は以下のとおり。

記録層 Layer	各層			多層化時	
	反射率 r n (%)	透過率 t n (%)	吸収率 a n (%)	反射率 R n (%)	吸収率 A n (%)
L1	9.341	35.229	55.430	9.34100	55.43000
L0	14.090	18.680	67.230	1.74869	23.68446

構造図において、記録層間距離は $8\mu\text{m}$ としているが、 $5\mu\text{m}$ 、 $8\mu\text{m}$ 、 $11\mu\text{m}$ と 3 種の試料を作製した。ピンホールなしの条件下における評価において、 $5\mu\text{m}$ の試料では層の判別ができなかったため（フォーカスサーボのかけ分けができない）、以降の評価は $8\mu\text{m}$ 以上の試料を使うこととした。

【1-2】のまとめ

評価装置の機能確認のために 10 層試料と狭層間試料を作製した。10 層試料を使った評価装置の多層ディスクへのサーボかけ分け機能の確認を行ったところ、10 層全ての層に対してフォーカス、トラッキングサーボをかけることに成功した。

また、記録層間距離を $5\mu\text{m}$ 、 $8\mu\text{m}$ 、 $11\mu\text{m}$ と 3 種の狭層間試料を作製。評価装置で層の判別を試みたところ、 $8\mu\text{m}$ 以上で層の判別ができたため、以降の評価には $8\mu\text{m}$ 以上の試料を使うこととした。

【1-3】光学計算とシミュレーション

以下の 2 項目について実施した。

- ① 比較的大きな層間距離（ $\sim 10\mu\text{m}$ 程度）のシミュレーション
- ② 大きな層間距離（ $11.5\mu\text{m}$ 以上）の影響評価方法の検討

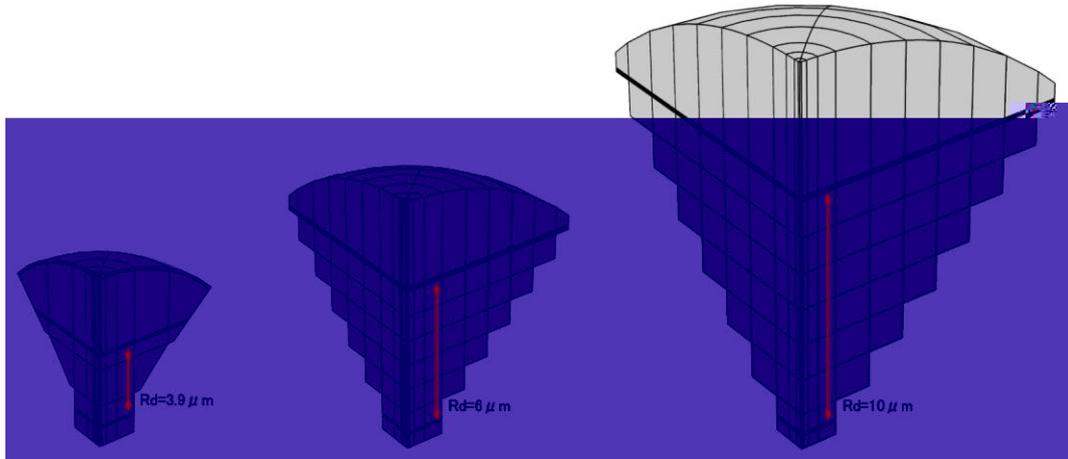
①比較的大きな層間距離（ $\sim 10\mu\text{m}$ 程度）のシミュレーション

計算する領域が広く、全領域を Comsol で計算することはできないため、Comsol による電磁波伝播計算と、MATLAB による波動光学計算を組み合わせで計算した。

各記録層からのシグナルの寄与を見積もるため、各記録層に微小な屈折率の変化を導入し、シグナルの変化率を計算した。記録層 R1、R2 を結晶 InSb とし、ビーム中心位置に直径 150nm の円盤を入れる。その円盤部分をアモルファス InSb に変えたときのシグ

ナル変化 $|\Delta|$ を計算する。

電磁波伝搬の計算モデルを以下に示す。昨年度まで使用していたワークステーションはメモリが 72GB であり、 $R_d=3.9\mu\text{m}$ までのモデルしか扱えなかったが、本年度は 512GB まで拡張することにより、 $R_d=10\mu\text{m}$ のモデルを扱えるようになった。



$R_d=3.9\mu\text{m}$

メモリ使用量: 約72GB
計算時間: 約25分

$R_d=6\mu\text{m}$

メモリ使用量: 約150GB
計算時間: 約65分

$R_d=10\mu\text{m}$

メモリ使用量: 約410GB
計算時間: 約300分

計算の結果、 $R_d < 6\mu\text{m}$ では $|\Delta|$ の変動が大きいが、全体的な傾向は R_d に関するある関数に従っている。特に R_d が大きいところは良く一致していることがわかった。以上のことより、大きな層間距離の場合、隣接記録層の影響は単調に減少しているといえる。

②大きな層間距離(11.5 μm 以上)の影響評価方法の検討

入射ビーム照射面積と記録ピット面積の比から、隣接記録層 R2 からの影響は R_d に関するある関数に比例していると考えられる。このモデルの妥当性は①のシグナル変化率の層間距離 R_d 依存性の結果から確認されたと判断する。

【1-3】のまとめ

- ① 昨年度のシミュレーションでは、計算用ワークステーションのメモリの制約から記録層間距離 R_d を $3.9\mu\text{m}$ までしかとることができず、大きな層間距離における隣接記録層の影響評価を充分行うことが出来なかった。本年度は、新しい計算用ワークステーションを導入することにより、層間距離 $R_d=10\mu\text{m}$ まで可能な大規模モデルを作成しシミュレーションを実施した。
- ② 層間距離 R_d を $2\sim 10\mu\text{m}$ に変えたときのシミュレーションの結果から、 $R_d > 6\mu\text{m}$ では隣接記録層からの影響は R_d に対して単調に減少するモデルで評価できることが確認できた。このモデルは、隣接記録層からの影響が入射ビームの照射面積と記録ビット面積の比率によって決まることを示しており、層間距離が $11.5\mu\text{m}$ 以上でも成り立つと考えられる。

【2-1】試料作成と材料の基礎特性評価

以下の項目について実施した。

- ① 10 層サンプルでの超解像再生評価
- ② InSb 超解像再生層の 2 層化検討と試料作製

①10 層サンプルでの超解像再生評価

10 層サンプルを使って、超解像再生評価を行った。サンプルディスクは【1-2】で示した試料を用いた。解像限界以下のマーク長(75nm)の再生評価において、本来見えない信号(CNR=0dB)でも再生パワーを上げることで 21dB の CNR を得た。また、解像限界近傍のマーク長(113nm)の再生評価においても、再生パワーを上げることで CNR が 10dB から 32dB になった。以上の結果より、本評価装置が超解像再生を十分評価できる仕様であることが確認できた。

②InSb 超解像再生層の 2 層化検討と試料作製

次に比較のために InSb 超解像再生層を有するサンプルでの評価を行った。評価に使ったサンプルは【1-2】で示した 2 層ディスクである。

<評価条件>

- 405nm / NA0.85 (Write&Readout)、660nm / NA0.65 (Tracking)、Track-pitch: 1.2 μ m
- 線速: 2.46m/s (CLV)
- マーク長: 75nm

InSb 超解像再生層を有するサンプルにおいて、解像限界以下のマーク長(75nm)で評価した結果、各層において 30dB 程度の超解像再生が確認できた。

【2-1】のまとめ

- ① 【1-2】で作製した多層試料において、到達 CNR は 30 dB ながら、超解像再生(再生パワーの増加とともに CNR が上昇する)を観測することができ、多層化と超解像再生の両立を目指した評価装置製作を実証することに成功した。
- ② InSb 層を用いた 2 層ディスクにおいても超解像再生が確認でき、本評価装置が 2 種の材料において、超解像再生が可能なことを示した。

【2-2】光学計算とシミュレーション

以下の 2 項目について実施した。

- ① 機能層等の膜厚変化の影響の評価
- ② 微小記録ピットを有する構造での再生シグナルのシミュレーション

①機能層等の膜厚変化の影響の評価

最適な機能層の膜厚を求めるために、シミュレーションを行った。ここでは機能層に InSb(熔融により光吸収が増大する)を用い、膜厚を 5~35nm まで変えて計算した。計算は電磁波伝搬と熱伝導の連成シミュレーションを行っている。

計算結果から、InSb 層の膜厚が 5~10nm の時はあまり細かいピークが得られないことがわかった。また、25nm 以上になるとピークが 2 重になり、超解像再生には適さな

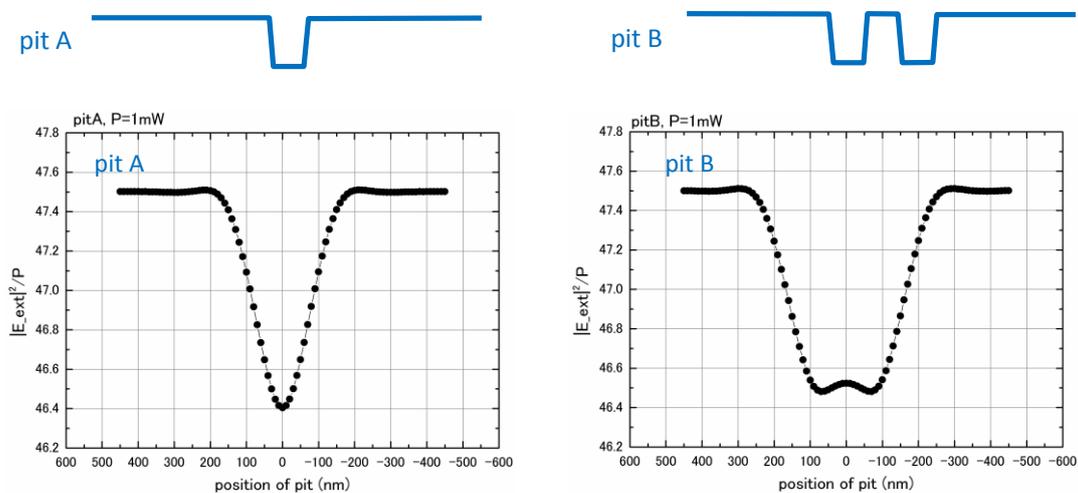
い電場強度分布となることがわかった。加えて、この時は透過光強度が小さくなっており、シグナル強度が弱くなることがわかった。

以上のことより、InSb 層の最適な膜厚は 20nm 弱程度ということがわかった。このことは InSb を使った超解像再生に関する過去の文献のデータとも整合性が確認できている。

②微小記録ピットを有する構造での再生シグナルのシミュレーション

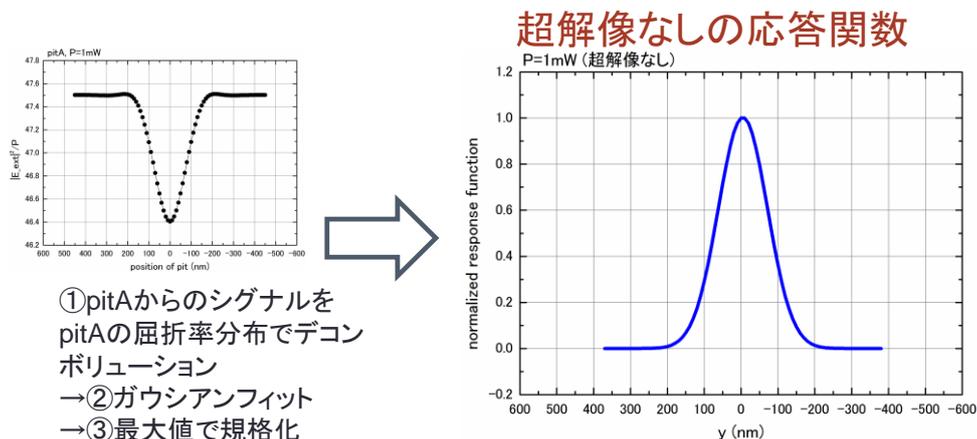
再生シグナルの観点から超解像現象の検証を試みるため、InSb 層の直下にピットを配置したモデルを使ってシミュレーションを行った。

InSb 層の直下に配するピットは以下の 2 パターン(model A、B)とした。各パターンの超解像なしの場合のシグナル強度の計算結果を以下に示す。



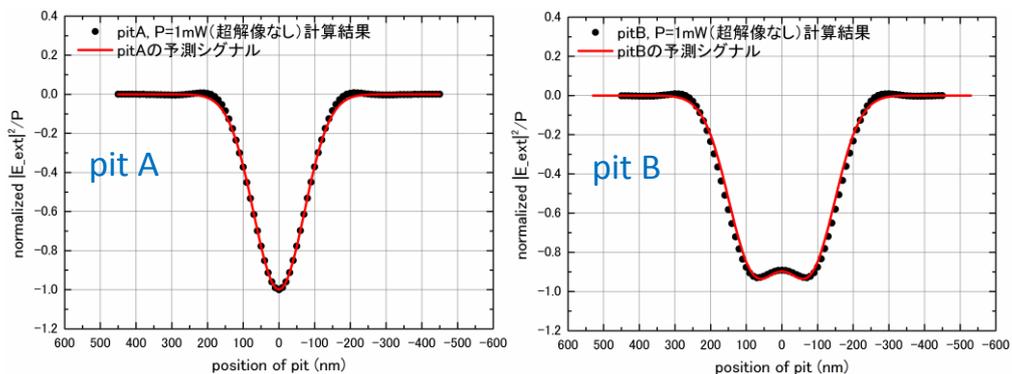
超解像なしの場合、pit A はシンプルな強度分布を示している。また、pit B は解像限界以下のピットサイズのため、2 つのピットが分離できず、ひとつのピークになっている。超解像ありの場合、pit A、B とともに複雑な形の強度分布が得られた。この結果の説明のためにそれぞれの状態の応答関数を求めた。

まず、超解像なしの場合の応答関数を求めるために pit A を元に計算を行った。シグナル強度と屈折率分布をデコンボリューションし、その後ガウシアンフィットすることできれいな応答関数が得られた。



次に超解像ありの場合の応答関数を求めるために、超解像なしの場合と同様の手法で求めようとしたが、デコンボリューション演算がわずかなデータの揺らぎに敏感で、適切な結果が得られないため適用できないと判断した。そこで、シグナル強度分布を4つのガウシアンカーブでフィッティングすることで応答関数を求めた。

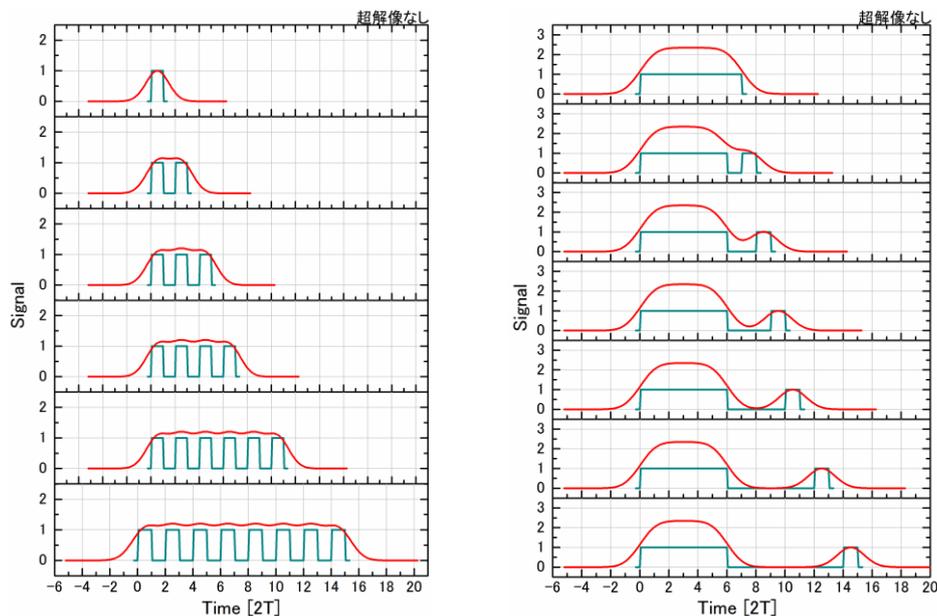
次に、求めた応答関数の性質を理解するために、応答関数のフーリエ変換を行った。計算結果から、超解像ありの場合の応答関数のフーリエ変換結果の方が、より高い空間周波数成分を持つことがわかった。このことは、より微小なピットを識別する能力を有することを示す。この結果から、シグナル評価という観点からも超解像効果が確認できた。応答関数が求まると、予測シグナルは簡単に求めることができる。以下に超解像なしの場合の予測シグナルの計算結果を示す。



超解像なしの場合は予測シグナル(赤線)と再生シグナルシミュレーション(黒丸)は良く一致している。このことから応答関数は妥当であると言える。

一方、超解像ありの場合も多少のズレはあるものの、ほぼ一致していると言える。ただし、若干のズレがある。今回は pit A のみを使って応答関数を求めたため、他のパターンを考慮するなど、応答関数に改善の余地がある。

同様に応答関数を用いて幾つかのピットパターンに対する予測シグナルを求めたので、計算結果を以下に示す。計算の条件はチャネルクロック 66MHz、線速 2.46m/s とした。グラフの横軸の単位は $2T=75\text{nm}$ である。



【2-2】のまとめ

- ① 光ディスク内の電磁波伝播と熱伝導の連成シミュレーションを行い、機能層(InSb)の膜厚を変えたときの超解像状態への影響評価を行った。超解像現象が起こると機能層の少し下の光強度分布は回折限界より細くなる。この強度分布は、機能層の膜厚が10nm以下ではあまり細くならず、25nm以上では2重ピークで強度が非常に小さくなるのが計算で示された。これらの結果から、超解像に最適なInSb層の膜厚は20nm弱程度であることが分かった。
- ② InSbを機能層とした場合の微小記録ピット構造の再生シグナルシミュレーションを行った。ピット幅80nmの単一ピット又はこれを連結したピット列を、モデルとなるディスク構造内で少しずつ移動させながら反射光シグナル強度を計算した。シグナル強度の計算結果から応答関数を求めたところ、超解像状態の応答関数は超解像なしの場合より高い空間周波数を持ち、より微小なピットを識別する能力を持つことを確認した。また、応答関数から様々なピットパターンに対する予測シグナルを求めた。

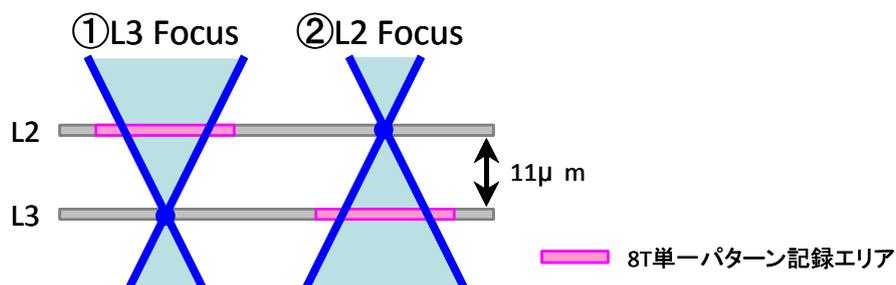
【3】評価装置製作

以下の2項目について実施した。

- ① ピンホール導入の効果の検証
- ② リニアフィード導入の効果の検証

①ピンホール導入の効果の検証

ピンホール径が $25\mu\text{m}$ のときのC/Nによる隣接記録層からの信号漏れ込みの抑制効果を確認した。確認方法であるが、市販のBDXLディスク(4層)を使い、最も記録層間の距離の狭いL2-L3間で検証を行った。下図でピンクで示した位置に8T単一パターンを記録し、隣接層からの漏れこみの影響をC/Nを用いて評価した。①ではL3層にフォーカスしているときの奥の層(L2)からの漏れこみを、②ではL2層にフォーカスしているときの手前の層(L3)からの漏れこみを確認する。



以下にC/N計測結果を示す。

①L3 Focus 状態

24.2dB \Rightarrow 21.4dB 2.8dBの低減

②L2 Focus 状態

30.1dB \Rightarrow 25.8dB 4.3dBの低減

それぞれの状態においてピンホール挿入の効果が確認できた。

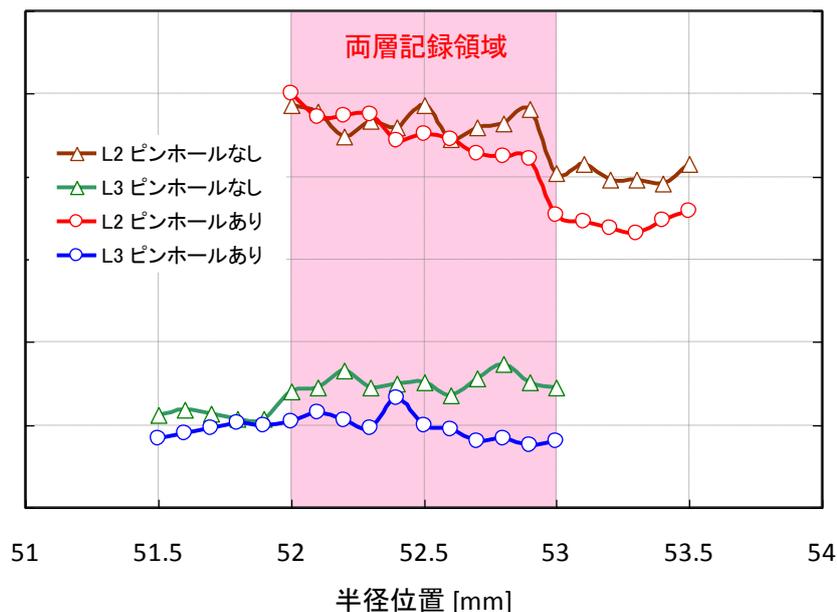
続いて、ピンホール径は $25\mu\text{m}$ のままで、ジッターによる隣接記録層からの信号漏れ込みの抑制効果を確認した。確認方法であるが、市販の BDXL ディスク(4 層)を使い、最も記録層間の距離の狭い L2-L3 間で検証を行った。下図でピンクで示した位置にランダムパターンを記録した。

L2 記録エリア : 52.0mm~53.5mm

L3 記録エリア : 51.5mm~53.0mm

	51.5	52.0	52.5	53.0
L0				
L1				
L2				
L3				

ピンホールの効果が得られると、全ての領域(自身のみの記録領域と両層記録した領域)でジッター値がフラットな特性を示す。評価結果を以下に示す。グラフの縦軸はジッターを示す。



L3 層ではピンホールなしの場合に両層記録領域でジッターが悪化するのに対し、ピンホールありの場合はほぼフラットな特性が得られているため、ピンホールの効果があると言える。しかしながら、L2 層ではピンホールあり/なしに関わらずフラットな特性が得られていない。

また、グラフではピンホールあり/なしでジッター値が変わらないように見えるが、実際はピンホールありの場合、5.0%程度ジッターが悪化している。これは透過率が下がっていることが影響している。

ピンホール径を 50 μ m に変えて同様の実験を行った結果を加え、以下にピンホールの挿入効果の確認結果を示す。

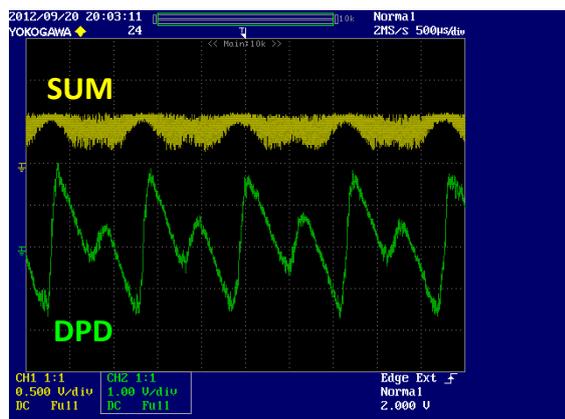
	透過光量	層間クロストーク改善効果	ジッター変化
Φ 25 μ m	70%	L3: -1.8dB L2: -2.2dB	L3: +5.0% L2: +5.5% ROM: +2.0%
Φ 36 μ m	80%	L3: -2.3dB L2: -3.3dB	L3: +1.3% L2: +2.4% ROM: +0.4%
Φ 50 μ m	90%	L3: -0.3dB L2: -1.8dB	L3: +0.8% L2: +0.7% ROM: +0.1%

ピンホールを挿入することで、層間クロストークの改善効果は確認できた。しかしながら、透過光量が下がり、ジッター値が悪化することがわかった。今後更なるピンホールの位置調整を行うなどし、効果の確認を行う。

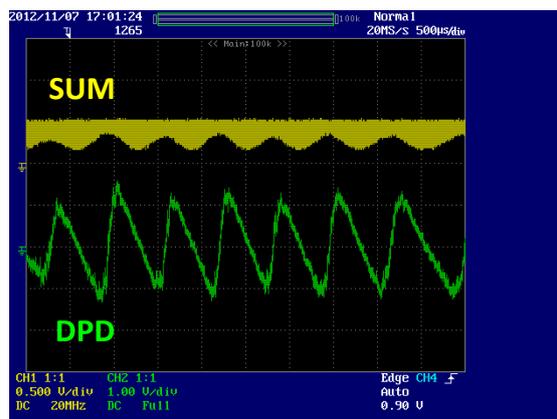
②リニアフィード導入の効果の検証

次の方法で効果の検証を行った。ディスクに連続記録をした後、トラッキングサーボを OFF した状態で DPD 信号を確認。得られる三角波が揃っていると、連続記録時に FEED が所望の動きをしていることが実証できる(詳細原理は割愛する)。従前の機構だと、レンズシフトという現象が発生し、均一なトラックピッチをキープして連続記録することができなかった。確認結果を以下に示す。

従前方式:ボールネジ



新方式:リニアフィード



左はボールネジを使った確認結果である。レンズシフトの影響により、記録トラックピッチにムラが生じ、三角波(DPD 信号)が不揃いであることが確認できる。

右はリニアフィード交換後の確認結果であるが、三角波がきれいに揃っており、所望の動作が得られていることが実証できた。

【3】のまとめ

サンプルディスクを使って、多層ディスクへのサーボかけ分け機能を確認した。ピンホールの調整機構を見直し、正確な位置出しができるようになったことで、その評価を行った。また、ミラー積層ディスクにおいて連続記録した際に、記録トラックピッチが不均一になる問題を解決するためにスレッドサーボ機構をボールネジからリニアステージに変更するとともに、制御方法も見直すことでその問題を解決し、効果を確認した。

第3章 全体総括

平成 22 年度-平成 24 年度の研究開発成果

本プロジェクトの成果を図 3-1 で説明する。超解像を用いることにより、100GB 台の容量を有するディスクは過去に研究開発事例があった。また、市販されているディスクでは、超解像なしで 4 層構造を持ち、128GB の容量を有するディスクが存在する。他方、現存する(従来の)評価機では、超解像なしで 8 層までのディスクを評価することができる。

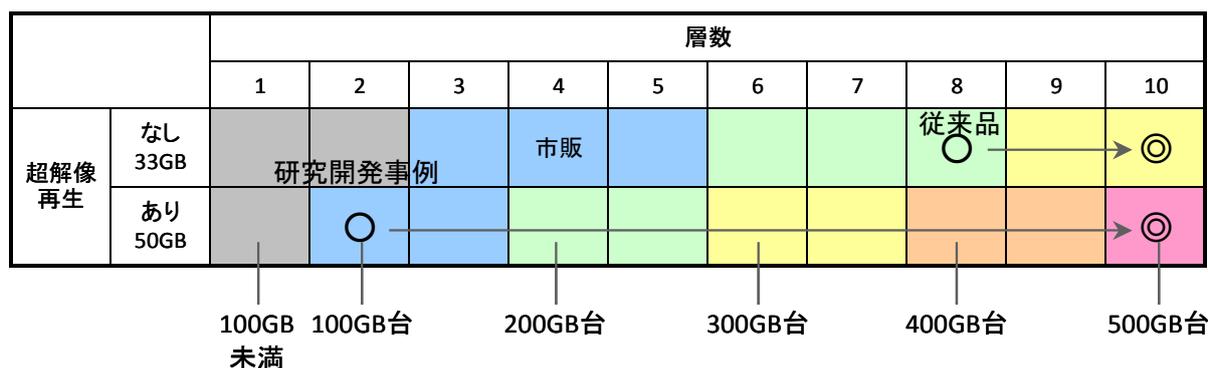


図 3-1 超解像再生と層数による解像度の大きさ

本プロジェクトでは、開発した評価機を使って超解像機能を有するディスクの評価が可能であること、10 層ディスクの評価が可能であることを実証した。これらより、当初計画した 500GB 以上の容量を有する光ディスクが評価可能となった。

電磁波伝搬と熱伝導の連成シミュレーションにより、超解像現象の再現ができた。これにより、機能層膜厚、再生パワー、線速度などの最適パラメータを得た。今後、学会発表や論文により成果報告を行う。

なお、サンプルディスクを作る過程で開発した超解像再生光記録媒体の要素技術について、特許を 1 件特願(2011-33013)出願した。

本プロジェクトで開発した評価機の主要なスペックを以下に示す。

- ・2 種類のレーザーを搭載し、ガイド層サーボ方式のディスク評価に対応
 - LD1: 波長 405nm
 - LD2: 波長 660nm

- ・球面収差補正範囲を広げ、ディスク設計の自由度を確保。
球面収差補正範囲は図 3-2 を参照。

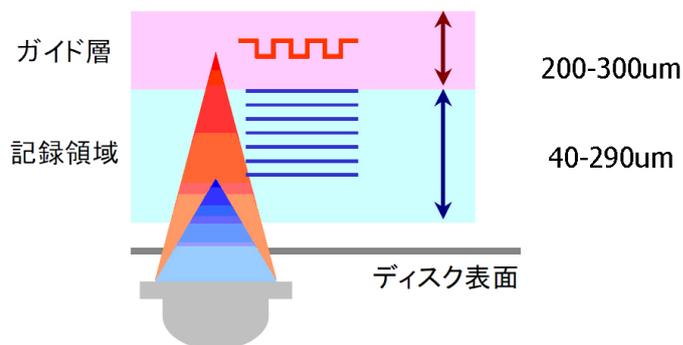


図 3-2 評価可能なディスクの構造

- ・赤光学系に高速リレーレンズを搭載。信号層、記録層間の膜厚誤差を補正
- ・再生パワーの高出力化により、超解像ディスクの再生に対応
最大再生出力: 14mW
- ・ピンホール載せ換え可能(要調整)
- ・リニアステージによるフィード機構の搭載により、ガイド層ディスクにおいても均一なトラックピッチをキープした連続記録が可能

完成した評価装置を図 3-3 に示す。



図 3-3 完成した評価装置外観

研究開発後の課題・事業化展開

研究開発後の事業化に向けて、技術的問題はほぼ解決できたが、確認作業として、開発したシミュレーションの妥当性の検証を進めている。検証用に作製した特殊仕様の超解像 ROM ディスクを用いた実信号評価において、良好な結果が得られている。

事業化に関連して、本研究開発成果に類似した仕様の評価装置は、研究開発期間中に既に 5 台の販売実績があった(総額 1.31 億円)。今後、開発完了した評価機のプロモーション活動を行なっていく。

最後に、事業化展開のための販路開拓は、販売先は既存顧客が中心となるため、ルートセールスによる対応で十分であり、2013 年度においては、3 台の販売を見込んでいる。