

## 球面収差補正のための新しい液晶素子の電極構成

New Electrode Structure of Liquid Crystal Panel for Sphere aberration correction

岩崎 正之, 小笠原 昌和, 大滝 賢

Masayuki Iwasaki, Masakazu Ogasawara, Sakasi Otaki

**要 旨** 高NAを用いる次世代光ディスク(Blu-ray Disc)システムでは,光ディスクのカバー層厚み誤差によって発生する球面収差を補正することが必須となっている。これまで,筆者らは液晶の複屈折を利用することで,この収差を補正できることを報告してきた。

今回は,液晶素子の電極取出し端子数を削減するため,新たに液晶素子内部に抵抗層を設けた収差補正素子を検討し,この素子が収差補正に有効であることを確認した。

**Summary** In the next generation optical disk (Blu-ray Disc) system that utilized high NA, it is necessary to compensate spherical aberrations caused by the variations of the cover layer thickness. Up to now, authors have reported that this aberration can be corrected by using the birefringence of the liquid crystal.

A new electrode composition with a resistance layer was examined this time, and this electrode composition was found to be effective to the aberration correction.

**キーワード** : 液晶, 光ディスク, 光ピックアップ, 収差補正, 位相制御, 高抵抗, 低抵抗

### 1. まえがき

筆者らは,これまで光ディスクの傾きやディスク板厚のバラツキによって発生する収差を液晶の複屈折を利用することで補正できることを見出し,液晶素子が光ディスクシステムのマージン拡大に有効であることを報告してきた<sup>(1)</sup>。(2)。そしてこの収差補正液晶素子を搭載したDVDカーナビゲーションとDVDレコーダを先に実用化した<sup>(3)</sup>。

一方,さらなる大容量化を実現するため,2002年2月にDVDの約5倍の記録容量を実現するBlu-ray Discシステムが国内外9社によ

て提案された。このシステムは青紫色半導体レーザを光源として用い,0.1mmの薄いカバー層を持つ光ディスクを高NA( $NA=0.85$ )の対物レンズで記録・再生する方式<sup>(4)</sup>である。

光ディスクのカバー層厚みを $d$ ,波長をとすると,コマ収差は $NA^3 \times d /$  に,球面収差は $NA^4 \times d /$  に比例する。したがって光ディスクのカバー層厚みを0.1mmと薄くすることで,ディスクチルトに対するマージンを現行のDVD並とすることができるものの,カバー層厚み誤差に対するマージンは逆に厳しくなる。このためBlu-ray Discシステムにおいては,カ

パー層厚み誤差で発生する球面収差を補正することが必須となっている。

今回、筆者らは液晶素子の電極取出し端子数を削減するため、複数の領域に電極を分割して個別に駆動する従来の電極構成とは異なる液晶素子を試作し、上述のシステムでの球面収差補正の性能について検討を行ったので、その内容について報告する。

## 2. 球面収差補正のための新しい電極構成

一般的な液晶素子による収差補正は、複数領域に分割された個々の電極に個別に電圧を印加することにより液晶の屈折率を制御し、位相差を発生させることで行う。球面収差を例に、その補正原理を図1に示す。カバー層厚みばらつきにより発生する球面収差は、図1(a)中に示すようなドーナツ状である。このため、液晶素子の電極を図1(b)の同心円形状とし、図1(a)上に示す形状の収差(位相差)を液晶素子で発生させる。その結果、お互いの収差が相殺され、図1(a)下に示す形状に球面収差を低減できる。

この電極を分割する方式を用いて正確に収差を補正するためには、電極の分割数をより多くして細かく補正するしかない。しかしながら、電極数の増加は電圧を印加するために取出す電

極本数の増加を招くと共に、駆動回路にも大きな負担がかかる。

筆者らはこれらの問題を解決するための、新しい電極構成を持つ液晶素子を検討した。検討した電極構成は2種類(Aタイプ、Bタイプ)あり、電極構成例とその時得られる印加電圧の分布についての模式図を図2、図3に示した。

Aタイプは従来通りに電極を複数領域(E1からE7)に分割する構成であるが、各々の電極は素子内部において高抵抗線Rによって接続されている(図2)<sup>(5)</sup>。このため電極E1、E3およびE7にそれぞれ異なる電圧V1、V2、V3を印加すると、抵抗Rによって電圧降下を起こした電圧が電極E2および電極E4、E5、E6に供給される。

一方、Bタイプは3本の同心円状の低抵抗電極E1、E2、E3と一つの高抵抗電極E4で構成されている(図3)<sup>(6),(7),(8)</sup>。それぞれの低抵抗電極(E1、E2、E3)に異なった電圧V1、V2、V3を印加すると、高抵抗電極E4が自ら抵抗となるため電極面内において電圧降下を起こし、滑らかな電圧分布が電極面内において形成される。

上記2タイプの電極構成を採用することで、液晶を駆動するための電圧供給端子数を大幅に削減できる。電極の位置は球面収差補正後の残留収差が1/5以下となるように各々のタイプで最適化した。Aタイプでは電極分割数を12と

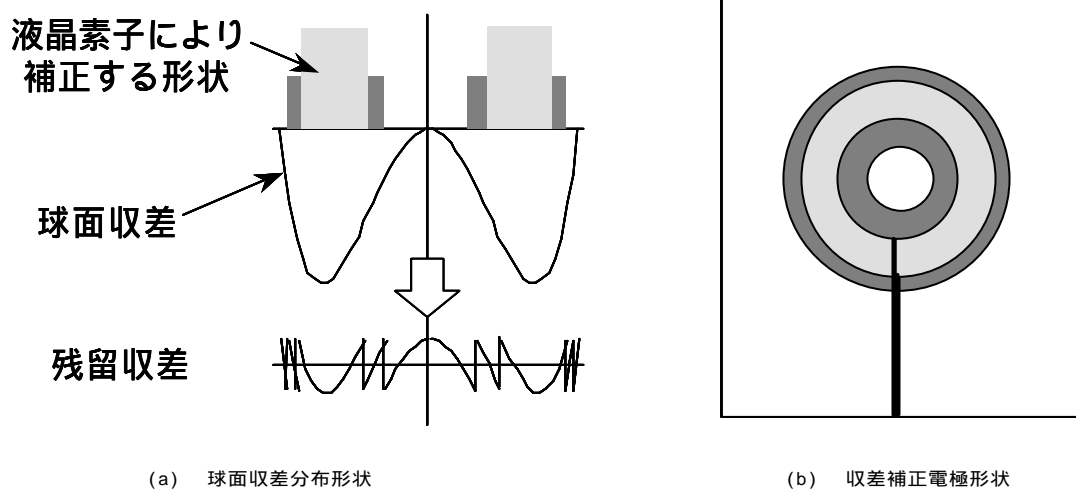


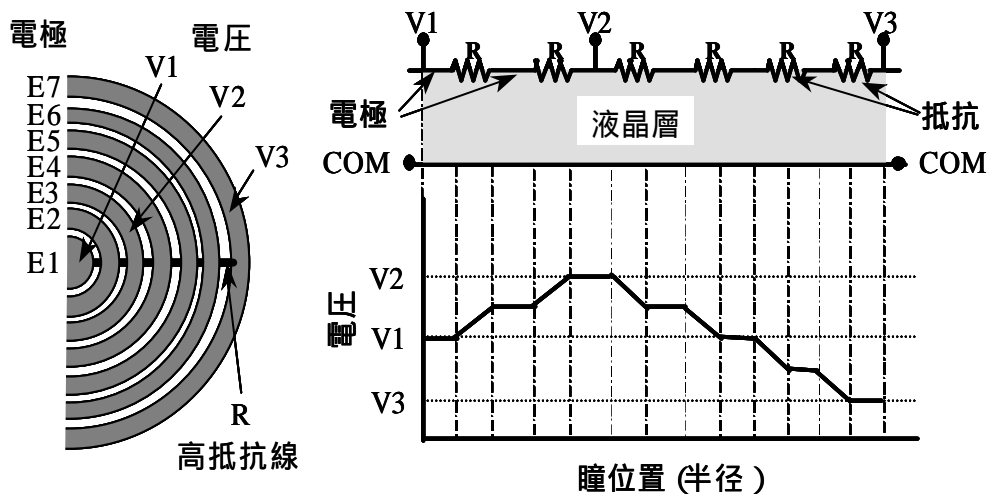
図1 球面収差補正の原理

し、またBタイプでは有限要素法を用いて低抵抗電極の位置を決定した。電圧を供給する端子数はコモンを含めて両者とも4本である。

上記2タイプの液晶素子を実際に試作し、先に説明した電圧分布が実際に得られているか確認を行った。ここで電圧分布の確認には、液晶素子をクロスニコル下に配置した時に得られる干渉色変化を観察することで行った。その結果を図4に示す。

Aタイプ(シチズン時計社製)では分割された一つの電極の中では同じ明るさであるが、電極が異なると明るさも異なっている。このことから、各々の電極には異なる電圧が印加されていることがわかる。

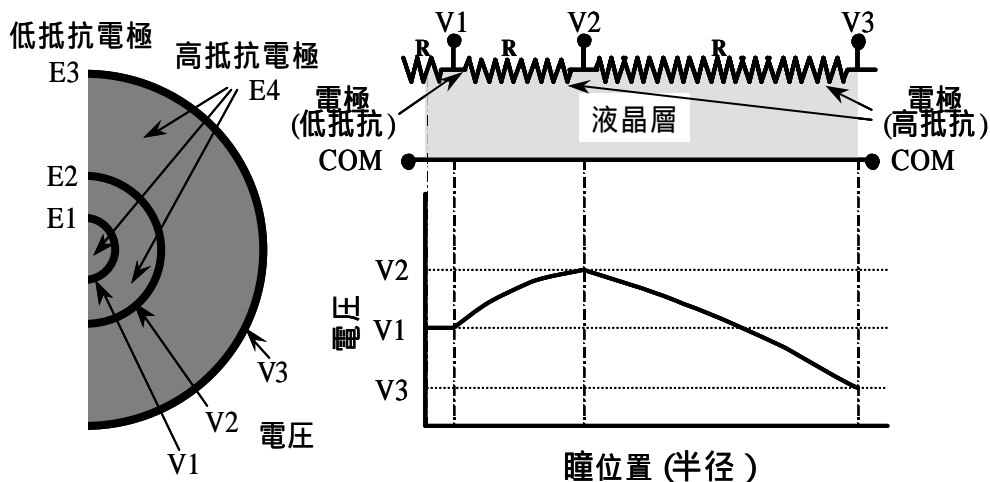
一方、Bタイプ(旭硝子社製)では電極面内において中心から外側に向かって連続的に明るさが変化していることから、電極面内において徐々に電圧が変化していることがわかる。



電極構成例

電圧分布

図2 電極構成例と印可電圧分布(Aタイプ)

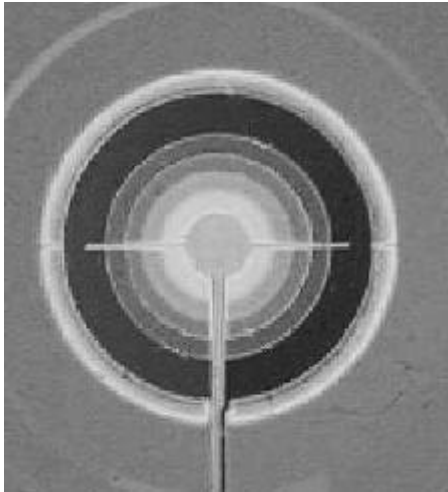


電極構成例

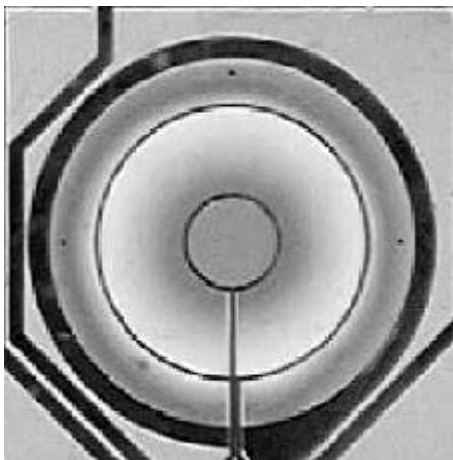
電圧分布

図3 電極構成例と印可電圧分布(Bタイプ)

以上の結果から、それぞれの素子における電圧分布形状は、先のモデルに示したようにAタイプ電極ではステップ状に、Bタイプ電極では滑らかに形成されている。



(A) タイプ



(B) タイプ

図4 液晶素子の干渉変化

### 3. Blu-ray Disc システムにおける球面収差補正

実際に液晶素子を組み込んだ光ヘッドを試作し、カバー層厚み誤差に対する球面収差の補正効果を検討した。図5に光ヘッドの構成を示した。ここで液晶素子は1/4波長板と一体化されており、入射した直線偏光は位相変調された

後、円偏光に変えられる。この液晶素子是对物レンズと一緒にアクチエータに搭載されている。筆者らがこの構成を採用した理由は、対物レンズと液晶素子との位置ずれによって収差補正効果が減少するのを防ぐためである。

表1にシステムのパラメータを示した。波長は405nmで、対物レンズのNAは0.85である。また光ディスクカバー層厚みは100 μmである。

カバー層厚みの異なる25GBytes ROMディスクを実際に用いて、それぞれのタイプの液晶素子で球面収差補正効果の実験を行った。図6にジッター値とカバー層厚みとの関係を示した。液晶OFFの時はカバー層の厚みが100 μmからずれるとジッター値は急激に悪化する。一方、液晶ONの時はAタイプ、Bタイプどちらの液晶素子を用いてもジッター値を大幅に改善でき、100 ± 20 μm程度の厚み誤差があるディスクでも、ジッター値を10%以下とすることができた。

また、Aタイプの液晶素子を用いてカバー層厚み86.1 μmの25GBytes ROMディスクを再生したときのRF信号を図7に示した。図7(a)は液晶OFFの場合を、図7(b)はAタイプの液晶をONの場合を示す。これより液晶を動作させることでRF信号が大幅に改善されることがわかる。

以上の検討結果から、電極構成の違いによる球面収差補正効果に大きな差は無く、Aタイプ、Bタイプとも電極取出し端子数を削減するための電極構成として有効であることがわかった。

### 4. 今後の課題

今回検討した液晶素子による球面収差補正は、往路のみ収差を補正しているため、復路では収差が残留し、これが検出系に若干悪影響を及ぼしている。特に、二層ディスクの球面収差を補正する場合、補正する球面収差量が多くなるため、復路においても球面収差を補正する必要があると考えられる。

現時点でこの課題を解決するには、復路補正用の液晶素子をもう一枚追加搭載することで解

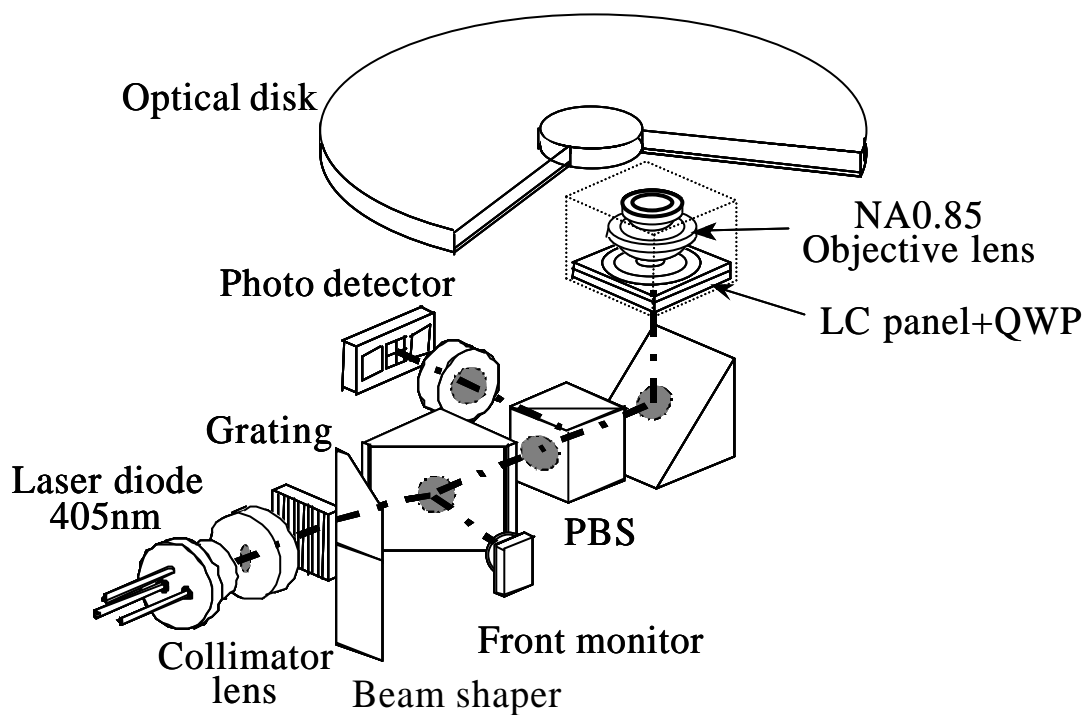


図5 光ヘッドの構成

表1 System Parameters

Objective lens NA	0.85
Wavelength	405nm
Tracking method	DPD (Differential phase detection)
Focusing method	Astigmatic method
Capacity	25GBytes/layer
Cover layer thickness	100um
Track pitch	0.3um
Minimum pit length	0.159um
Channel clock	66MHz
Modulation	17PP

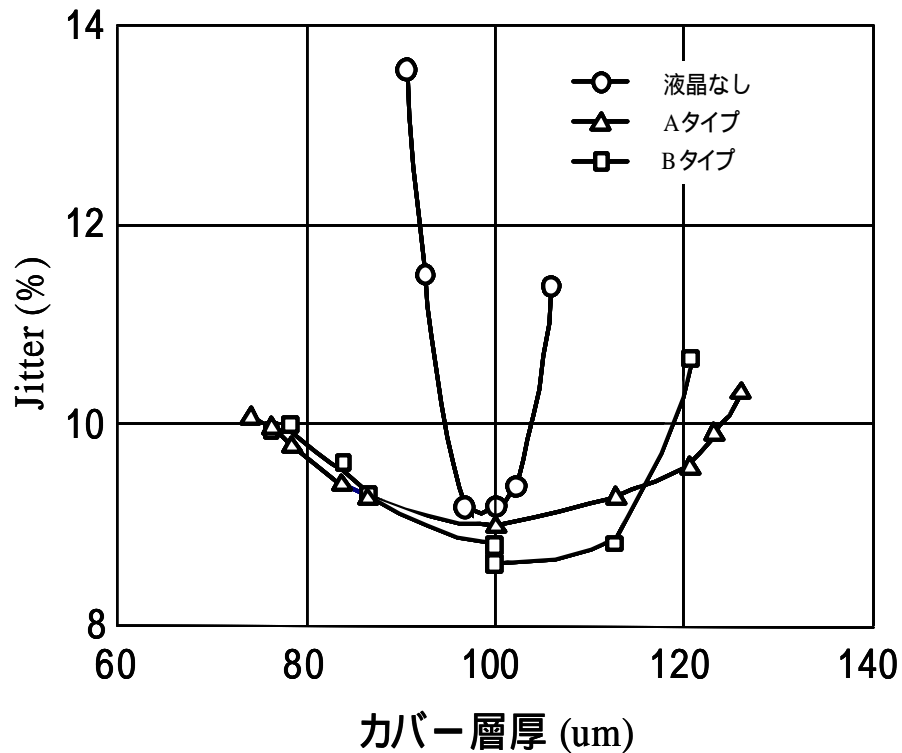
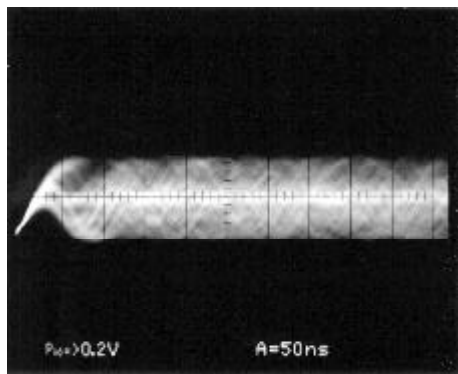
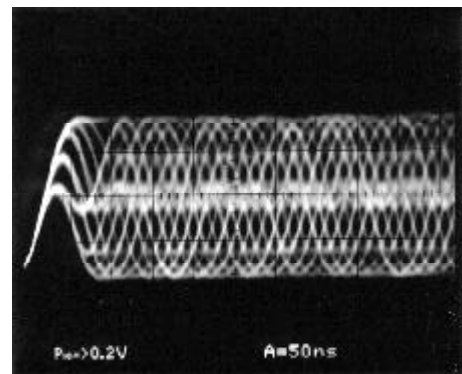


図6 カバー層厚みとジッタの関係



(a) 液晶OFF



(b) Aタイプ液晶ON

図7 25Gbytes ROM Disk Readout RF Signal

決できるが、これによる重量や厚みの増加、二枚の液晶素子の張り合わせ精度などが大きな問題となる。加えて液晶素子をアクチエータへ搭載するため、素子への電圧供給方法や対物レンズとの位置合わせなど、解決すべき課題がある。

## 6. まとめ

今回筆者らは、Blu-ray Discシステムにおい

て、カバー層厚み誤差で発生する球面収差を補正するための液晶素子として、電極取出し端子数を4本に削減した2種類の液晶素子を検討した。一つは分割した各電極を高抵抗線で接続するタイプであり、もう一つは自らの抵抗によって電極面内で電圧降下を起こすタイプである。

この液晶素子を高NAの対物レンズと青色半導体レーザを用いた25GbytesのROMディスク

システムに組み込み，その有効性を確認した。  
今回の実験結果では，両方の液晶素子とも±  
20 μm程度のカバー層厚み誤差を十分補正す  
ることができた。

## 5. 謝辞

本検討を進めるにあたり，液晶素子を試作供  
給して頂いた旭硝子株式会社およびシチズン時  
計株式会社の関係各位に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1)N. Murao, et al.: ISOM/OFAC2, OFA4-1,  
p.351, MAUI, HAWAII, July, 1996.
- (2)S.Ohtaki, et al.: JJAP, Vol.38, p.1744,  
1999.
- (3)佐藤, 他: PIONEER R&D, Vol.9, No.2,  
p.63, Dec.1999.
- (4)K.Yamamoto et al.: JJAP, Vol.36, pp456-  
459, 1997
- (5)W.Klaus et al.: SPIE Proc., 3015, p84,  
1997.
- (6)上原, 他: 第43 回応物予稿集, 28-a-ZA-  
3, p922, Mar., 1996.
- (7)上原, 他: 第57 回応物春季予稿集, 8a-ZQ-  
9, p.792, Sep., 1996.
- (8)野村, 他: 第61 回応物秋季予稿集, 4p-  
K1, p.1011, Sep., 2000.

## 筆 者

岩 崎 正 之 (いわさ きまさゆき)

- a. 研究開発本部 総合研究所 光技術システ  
ム研究部
- b. 1989 年
- c. 液晶ディスプレイの開発を経て光機能部  
品の開発に従事。

小 笠 原 昌 和 (おがさわら まさかず)

- a. 研究開発本部 総合研究所 光技術システ  
ム研究部
- b. 1989 年
- c. 光ピックアップ開発に従事。

大 滝 賢 (おおたき さかし)

- a. 研究開発本部 AV開発センター BDR 開発部
- b. 1980 年
- c. ディスプレイシステムの研究などを経て