The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	プラスチック材料の微細加工技術と光デバイスへの応用に関する研究
Author(s)	藤澤, 克也
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2241
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

プラスチック材料の微細加工技術と光デバイスへの応用に関する研究

2008 年

藤澤　克也

概要

本論文はプラスチック材料の微細加工技術と光デバイスへの応用に関する一連の研究結果を纏めたものである。

プラスチック材料は無機ガラスに比べ加工性、軽量性、量産性に優れており、従来より光ディスクプレーヤやビデオカメラにはプラスチック製レンズが広く使用されている。また、近年はプロジェクションテレビ向けスクリーン、LCD 向けバックライトやプリズムシートなどディスプレイ分野でもプラスチック材料を用いた光デバイスが用いられており、応用範囲を益々拡大しつつある。このような光デバイスは機械切削で作製された金型を用いた射出成型法や押出成型法により成型加工されているが、ビデオカメラやディスプレイに対する高解像度化や高画質化の要求に伴い、従来よりも高精度な微細加工技術が求められている。

本研究では、新規な光反応性材料を用いた微細加工技術を提案し、CCD カメラ向け光学的ローパスフィルタや液晶プロジェクタ向けソフトフォーカスフィルタなどの光デバイスに応用できることを示している。また、光硬化性樹脂を用いて光学フィルムの表面に微細パターンを形成するという新規な微細加工技術を提案し、高輝度化、低消費電力化、および薄型・軽量化に優れた LCD 向けバックライトが実現できることを示している。

論文は本文７章と参考文献、謝辞より構成されている。以下に各章の概要を記す。

第１章　序論

プラスチック材料を用いた光デバイスの特徴を示すと共に、応用商品の開発動向や市場動向を概観し、微細加工技術の重要性を抽出している。また、新規な微細加工技術を応用した光デバイスについて議論し、本論文の意義と目的を明らかにしている。

第２章　微細加工技術

紫外線照射によって体積と屈折率が変化する新規な光反応性材料を用いた微細加工技術は、パターンの微細化や断面形状の精密制御が可能であることを示している。

次に、パターンの微細化と断面形状の精密制御に加え、光デバイスの薄型化、大面積化、生産性の向上を目的に、光学フィルムの表面に微細パターンを形成可能な微細

加工技術を検討し、様々な形状の光学パターンを形成可能であることを示している。更に、この微細加工技術を発展し、ロール・トゥ・ロール方式による連続成型技術を適用できることを示している。

第３章　回折格子型光学的ローパスフィルタ

CCD カメラに発生する偽信号を防止するための回折格子型光学的ローパスフィルタは、低周波数域における MTF 値の低下を抑える必要があると共に、回折格子像が撮像されるという課題を解消することも必要である。光学シミュレーションの結果、低周波域における MTF 値の低下を抑えるためには断面形状が正弦波状の回折格子を用い、更に回折格子の周期を CCD の画素周期あるいは CCD に形成されているカラーフィルタのアレイ周期に対して最適化することによって回折格子像が撮像されるという課題も対策可能なことを議論している。また、光反応性材料を用いた微細加工技術を応用した原理サンプルの試作、評価により、光学シミュレーションの正当性を示している。

第４章　回折格子型ソフトフォーカスフィルタ

液晶プロジェクタでは、LCD パネルに形成されたブラックマトリックスも拡大投影され画質を損なうため、画像コントラストを損なうことなくブラックマトリックス像を低減可能なソフトフォーカスフィルタが求められている。光反応性材料を用いた微細加工技術による断面形状が正弦波状の回折格子を応用することを考え、光学シミュレーションおよび原理サンプルの試作、評価を行った。その結果、低周波域における AR 値の低下を抑えてブラックマトリックス像を低減したソフトフォーカスフィルタを実現可能なことを示している。

第５章　光学パターン形成フィルムを用いた導光型バックライト

LCD に対する高画質化、低消費電力化、薄型・軽量化の要求に伴い、LCD に用いられるバックライトには高輝度化、低消費電力化、および薄型・軽量化が要求されている。このような要求を満足する新方式の導光型バックライトを考案し、更に光学フィルム表面への微細パターン形成技術によって作製した光学パターン形成フィルムを導光板に貼り合せた原理サンプルの試作、評価を行った。その結果、各種用途の LCD に対応可能な視野角依存性や面内輝度分布が得られると共に、従来のバックライトに比べ高輝度化、低消費電力化、薄型・軽量化に有効であることを示している。

第６章　LED 光源を用いた導光型バックライト

光学パターン形成フィルムを用いた導光型バックライトの更なる薄型化を目的に、光源に LED を用いることを考え､光学シミュレーションおよび原理サンプルの試作、評価により実現可能なことを示している。

次いで、光学パターンへの光拡散材の添加、および導光板に代えて導光フィルムを用いることによって、超薄型の導光型バックライトが実現できることを示している。更に、この超薄型バックライトはバックライトに必要な全機能が一体化しており、また折り曲げることも可能なため、生産性に優れたロール・トゥ・ロール方式による連続生産技術も適用可能であることを議論している。

第７章　結論

第２章から第６章までの研究成果を総括し、本研究で得られた結論と将来の展望について述べている。

目次

第１章　序論 1
１．１　本研究の背景 1
１．２　本研究の目的と意義 4
１．３　本論文の構成と概要 5
参考文献 9

第２章　微細加工技術 10
２．１　はじめに 10
２．２　光反応性材料を用いた微細加工技術 10
２．２．１　光反応性材料 11
２．２．２　微細加工プロセス 12
２．２．３　膜厚と屈折率の変化量 13
２．３　光学フィルム表面への微細パターン形成技術 14
２．３．１　微細パターン形成プロセス 15
２．３．２　微細パターンの形状 16
２．３．３　連続成型技術への適用 17
２．４　まとめ 20
参考文献 21

第３章　回折格子型光学的ローパスフィルタ 22
３．１　はじめに 22
３．２　光学的ローパスフィルタの機能 22
３．３　回折格子型光学的ローパスフィルタの設計 26
３．３．１　MTF 特性の向上 26
３．３．２　回折格子像の対策 29
３．４　回折格子型光学的ローパスフィルタの作製プロセス 31
３．５　回折格子の断面形状と光学特性 32
３．５．１　断面形状 32
３．５．２　光学特性 32

３．６　回折格子型光学的ローパスフィルタの光学性能　33
３．６．１　回折格子像　34
３．６．２　光学的ローパス性能と AR 特性　37
３．７　まとめ　38
参考文献　40

第４章　回折格子型ソフトフォーカスフィルタ　42
４．１　はじめに　42
４．２　ソフトフォーカスフィルタの機能　43
４．３　回折格子型ソフトフォーカスフィルタの設計　45
４．４　回折格子型ソフトフォーカスフィルタの作製プロセス　47
４．５　回折格子の断面形状と回折効率　47
４．５．１　断面形状　47
４．５．２　回折効率　49
４．６　回折格子型ソフトフォーカスフィルタの光学性能　50
４．７　まとめ　53
参考文献　54

第５章　光学パターン形成フィルムを用いた導光型バックライト　55
５．１　はじめに　55
５．２　光学パターン形成フィルムを用いた導光型バックライトの構造　57
５．３　導光型バックライト向け光学パターンの設計　59
５．３．１　視野角依存性　59
５．３．２　面内輝度分布　62
５．４　導光型バックライトの作製プロセス　64
５．５　光学パターンの形状　64
５．６　導光型バックライトの光学性能　65
５．６．１　視野角依存性　66
５．６．２　面内輝度分布　68
５．６．３　光取出し効率　69
５．７　まとめ　70
参考文献　72

第６章　ＬＥＤ光源を用いた薄型バックライト 73
６．１　はじめに 73
６．２　薄型バックライト向け光学パターンの設計 75
６．３　薄型バックライトの作製プロセス 76
６．４　光学パターンの形状 77
６．５　薄型バックライトの光学性能 78
６．５．１　面内輝度分布 78
６．５．２　視野角依存性 79
６．６　超薄型バックライト 81
６．６．１　超薄型バックライトの構造 81
６．６．２　拡散材添加光硬化性樹脂の組成 83
６．６．３　超薄型バックライトの作製プロセス 85
６．６．４　超薄型バックライトの光学性能 86
６．６．５　連続生産プロセスへの適用 87
６．７　まとめ 88
参考文献 90

第７章　結論 91
７．１　本研究の結論 91
７．２　今後の展望 93

謝辞 94

本論文に関する研究発表 95

略語対照表

略語	名称
AR	Amplitude Response
BBP	3-Benzoyl Benzophenone
BMA	2-Butenyl Methacrylate
CCD	Charge Coupled Device
CCFL	Cold Cathode Fluorescent Lamp
CGH	Computer Generated Hologram
CRT	Cathode Ray Tube
CZP	Circular Zone Plate
EL	Electroluminescence
FWHM	Full Width at Half-Maximum
GMA	Grycidyl Methacrylate
GOLF	Grating Optical Low-Pass Filter
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
LSF	Line-Spread Function
MMA	Methyl Methacrylate
MTF	Modulation Transfer Function
OLED	Organic Light-Emitting Diode
OLF	Optical Low-Pass Filter
OPF	Optically Patterned Film
PC	Polycarbonate
PDP	Plasma Display Panel
PMMA	Polymethyl Methacrylate

第１章　序論

１．１　本研究の背景

1982 年の CD プレーヤの発売により音楽情報は従来のアナログからデジタルにほぼ切り替わっているが、近年の高度情報社会の進展に伴い、画像情報もデジタル化が進んでいる。このため、デジタル画像の入出力、記憶、および伝送に関連する商品の重要性が益々高まっており、特に CCD などの固体撮像素子を用いたビデオカメラやデジタルカメラ、および LCD、PDP、OLED などを用いたディスプレイなどのデジタル家電商品が市場規模を著しく伸ばしている。従来このような商品に用いられるレンズなどには無機ガラスが用いられてきたが、小型軽量という市場ニーズに対応するためプラスチック材料を用いた光デバイスが利用されるようになってきた。例えば、1984 年にコニカが開発、量産化した CD プレーヤ用プラスチックレンズ [1)]は、光ピックアップの小型軽量化およびこれによるアクセス・タイムの短縮化という特徴により CD プレーヤの市場成長と共に急速に利用範囲が拡がり、現在では CD プレーヤ以外の光ディスクプレーヤにも幅広く利用されている。また、プラスチック材料を用いることにより非球面レンズを容易に製作でき、レンズ枚数の低減や小型軽量化を図ることができるため、最近ではデジタルカメラ向けレンズとしても利用されている。

レンズや光ディスクには、プラスチック材料としてポリメチルメタアクリレート(PMMA)やポリカーボネート(PC)が用いられている。PMMA はプラスチック材料の中で最高の光線透過率と耐侯性を有すると共に、複屈折の起こり難い等方性材料であり、かつ成形性も良好で機械的性質のバランスが取れているなど、最も光学用プラスチック材料としての適用性が大きい。従って、レンズ、回折格子、LCD 向けバックライトの導光板などに幅広く使用されている。また、PC は PMMA に比べて耐熱性、耐衝撃性に優れ、低吸水性という特性を有しているため、光ディスクや強靭性を必要とするレンズなどに使用され、PMMA に次いで光学用プラスチック材料として重要な位置を占めている。PMMA や PC 以外に、ジエチレングリコールビスアクリレート(CR-39)やメチルメタクリレートースチレン共重合体樹脂(MS)なども一般的に使用されている。CR-39 は熱硬化タイプであり、耐熱性、耐衝撃性、透明性に優れると共に、成型後での染色が可能であるため、主として眼鏡レンズ向け材料として利用されている。また、MS は吸水率が低く、PMMA よりも高温高湿度下での反りが少ない光デバイスを実現できるため、プロジェクションテレビ向けスクリーンとして用いられるレンチ

キュラレンズや LCD テレビ向け拡散板など大面積な光デバイスに使用されている。表１．１に光学用プラスチック材料の特性と応用例を示している。

表１．１　プラスチック材料の特性と応用例

	無機ガラス	PMMA	PC	CR-39	MS
光線透過率(%)	90~91	92~93	87~90	88~91	90
屈折率(n_D)	1.42~1.92	1.492	1.587	1.500	1.564
複屈折率(nm)	< 10	10~20	30~80	-	-
アッベ数	21~95	57~58	31	58	41
アイゾット衝撃強度(kg･cm･cm^{-1})	-	2.2~2.8	80~100	2.3~2.8	1.5~2.5
熱変形温度(℃)	500~720	100	138~140	140	85~90
吸水率(%)	-	2.0	0.4	-	0.15
応用例		レンズ 回折格子 導光体	光ディスク	眼鏡レンズ	レンチキュラレンズ

PMMA、PC、MS などの熱可塑性プラスチック材料を用いた光デバイスは、レンズ状や平坦状など用途に適した形状を有する金型を機械切削やレーザー描画で製作し、金型を用いた射出成型法、押出成型法で加工されている。また、CR-39 のような熱硬化性プラスチック材料の場合は、注型成型法で加工されている。図１．１にプラスチック材料と成型方法の関係を示している。

上記のような機械切削による金型を用いた加工法では加工精度が低く、加工可能な形状もレンズ状や平坦状に限られている。このため、大阪大学やソニーでは He-Ne レーザーを光源とする光ピックアップ向けホログラフィックレンズの研究が行われたが [2, 3]、再生光源である 780nm の半導体レーザーの波長で記録可能な感度と空間分解能のあるホログラム材料が開発されていなかったため、光ピックアップとしての応用は中止されている。代わって、コンピュータジェネレーテッドホログラム(CGH)や電子ビームリソグラフィ技術によるグレーティングレンズの開発が大阪大学や東芝などで研究されたが [4, 5]、試作されたグレーティングレンズの回折効率が低い、加工可能

な面積が小さい、および入射許容角度が小さいという課題があり、実用化には至らなかった。表１．２に、従来から利用されているプラスチック材料の加工技術と応用例を示している。

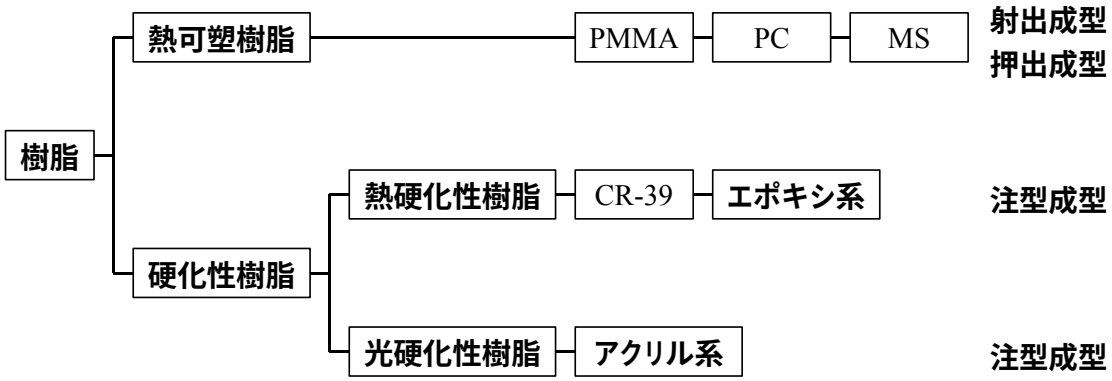


図１．１　プラスチック材料と一般的な成型方法

表１．２　従来の加工技術と応用例

加工技術		加工精度 (μm)	加工面積 (cm)	応用例
金型	成型			
機械切削	射出成型	0.1	＜30	レンズ 回折格子 導光板
	押出成型	1	＞100	レンチキュラレンズ
	注型成型	0.1	＜30	眼鏡レンズ
レーザー描画	射出成型	0.1	＜30	光ディスク
干渉露光	射出成型	＜0.1	＜1	-
電子ビーム描画	射出成型	0.1	＜10	-

レンチキュラレンズや導光板などデジタル画像の入出力装置にもプラスチック材料を用いた光デバイスが利用されるようになってきているが、デジタル画像の高解像度化、高輝度化、高コントラスト化、および大面積化に伴い、光デバイスの加工技術には更なる微細化、大面積化、およびこれらを損なうことの無い薄型化が求められている。しかしながら、表１．２のように従来から利用されている加工技術は微細化と大面積化の両立が困難であり、成型可能な最小厚みにも限度がある。また、明るさやコントラストなどの画質を損なわないためには光学パターンの断面形状を精密に制御する必要があるが、従来の加工技術では断面形状を精密に制御できないという課題もある。このように、デジタル画像の入出力装置に用いられる光デバイスに適した加工技術には、

・微細なパターンを形成可能なこと
・微細パターンの断面形状を精密に制御可能なこと
・大面積化の可能なこと
・薄型化の可能なこと

を満足することが要求される。これらの要求を全て満足するプラスチック材料の微細加工技術が実現できれば、デジタル画像の入出力装置向け光デバイスの幅広い応用展開が期待される。

以上本節では光学用プラスチック材料、プラスチック材料の加工技術および応用例の現状とこれらの技術における問題点、更に次への期待について述べた。

１．２　本研究の目的と意義

本研究の主たる目的は、断面形状が精密に制御された微細なパターンを形成できると共に、大面積化や薄型化の可能なプラスチック材料の微細加工技術を提案し、確立することにある。更に、確立された微細加工技術を用いて、デジタル画像の入出力に利用される光デバイスへの応用展開を図ることを目的とするものである。

断面形状が精密に制御された微細パターンの加工技術が実現できれば、デジタル画像の高解像度化に対応でき、また画像コントラストの低下が少ない、および光利用効率が高いなどの特徴を有する光デバイスへの応用が可能になる。また、このような微細加工技術の大面積化や薄型化が可能になれば、応用展開可能な商品の拡大および応用商品の小型軽量化に繋がるため、デジタル画像の入出力装置の更なる発展に貢献できる。

１．３　本論文の構成と概要

本論文は、第１章の序論も含めて本文７章、および参考文献、謝辞より構成されている。図１．２に本論文の構成と各章の有機的な繋がりを図式化している。

第２章では、断面形状や屈折率分布が精密に制御された微細パターンを形成することを目的として、紫外線照射によって体積と屈折率が変化する新規な光反応性材料を用いた微細加工技術を提案するに至った経過について述べている。実際に光反応性材料を用いて微細パターンを形成し、形状変化量および屈折率変化量を測定することによって断面形状や屈折率分布を精密に制御可能なことを確かめている。

次いで、断面形状が精密に制御された微細パターンの薄型化、大面積化、および生産性向上を目的に、光硬化性樹脂を用いて光学フィルムの表面に微細なパターンを形成するという微細加工技術を確立し、様々な形状の微細パターンを形成可能であることを確かめている。更に、この微細加工技術を発展したロール・トゥ・ロール方式による連続成型技術を提案し、実際の試作により実用性の有することを述べている。

第３章では、光反応性材料を用いた微細加工技術を応用し、デジタル画像の入力装置である CCD カメラに発生する偽信号を防止する回折格子型光学的ローパスフィルタに適用した結果について述べている。

CCD カメラに発生する偽信号を防止する回折格子型光学的ローパスフィルタは、画像コントラストの低下を抑えるために低周波域における MTF 値の低下を抑える必要がある。また、回折格子像が撮像されることにより画質が低下するという課題を解消することも必要である。光学シミュレーションの結果、低周波域における MTF 値の低下を抑えるためには回折格子の断面形状を正弦波状にすることが有効であることを示している。また、回折格子像は、撮像面に投影された回折格子の実効的な周期を CCD の画素周期あるいは CCD に形成されたカラーフィルタのアレイ周期と同じにするか、整数分の 1 にすることで解消できることを示している。更に、原理サンプルの AR 特性、光学的ローパス性能、および回折格子像の評価によって光学シミュレーションの正当性を確認し、CCD カメラの小型軽量化に有効な光デバイスを実現できる可能性のあることを述べている。

第４章では、光反応性材料を用いた微細加工技術を応用し、デジタル画像の出力装置である液晶プロジェクタ向け回折格子型ソフトフォーカスフィルタに適用した結果について述べている。

液晶プロジェクタには、LCD パネルの画像コントラストを向上するために形成されたブラックマトリックスも拡大表示されるため画質が低下するという課題がある。ブ

ラックマトリックス像を低減するためソフトフォーカスフィルタを用いることが提案されているが、従来のソフトフォーカスフィルタは低周波域の MTF 値が低いため画像のコントラストが低下するという課題があった。そこで、回折格子型ソフトフォーカスフィルタの光学シミュレーションを行い、液晶プロジェクタにおいても、低周波域における MTF 値の低下を抑えるためには回折格子の断面形状を正弦波状にすることが有効であることを示している。また、原理サンプルを試作し、正弦波状回折格子の光学性能やこれを用いた液晶プロジェクタの画像を評価することにより、画像コントラストの低減を抑えてブラックマトリックス像が低減するという結果が得られ、液晶プロジェクタの高画質化に有効であることを述べている。

第５章では、光学フィルムの表面に微細なパターンを形成するという微細加工技術を応用し、デジタル画像の出力装置である LCD 向け導光型バックライトに適用した結果について述べている。

LCD は非発光ディスプレイであるためバックライトを必要とするが、LCD に対する高輝度化、低消費電力化、薄型軽量化の要求に伴い、バックライトには高輝度化、低消費電力化、および薄型軽量化が要求されている。このような要求を対応するため種々検討し、光学フィルムの表面に微細な光学パターンが形成された光学パターン形成フィルムを導光板に貼り合わせた導光型バックライトについて述べている。また、この導光型バックライトについて、出射光の視野角依存性や面内の輝度分布の光学シミュレーション結果を示している。光学シミュレーションに基づいて試作した導光型バックライトの視野角依存性、面内輝度分布、および光取出し効率を評価し、バックライトに要求される視野角依存性や面内輝度分布を満足すると共に、従来の導光型バックライトに比べ高い光取出し効率が得られることを示している。

第６章では、LED は高輝度化や小型軽量化により、冷陰極管に代わるバックライトの光源としての応用が拡大しており、このような LED を光源に用いた薄型な導光型バックライトについて述べている。光学パターン形成フィルムを用いた導光型バックライトに複数個の LED を設置すると、LED と LED の間に暗部が発生する。そこで、光学シミュレーションを行い、暗部は光学パターンの間隔を調整することによって解消できることを示している。また、原理サンプルを試作し、光学シミュレーションに基いた光学パターンにより暗部が解消でき、バックライトに要求される面内輝度分布や視野角依存性を満足できること、更に従来の導光型バックライトに比べ正面方向の輝度を高くできることを示している。この結果から、特に低消費電力化や薄型軽量化の要求が厳しい小型 LCD に適していることを述べている。

次いで、光学パターンの形成に用いる光硬化性樹脂に光拡散材を添加することによって導光型バックライトに必要な全ての機能を一体化し、更に導光板の代わりに導光フィルムを用いた超薄型バックライトについて述べている。また、原理サンプルを試作し、面内輝度分布や視野角依存性の評価により、バックライトに要求される性能を満足することを示している。このことから、折り曲げも可能な超薄型バックライトを実現でき、生産性に優れるロール・トゥ・ロール方式による連続生産技術もできる可能性のあることを述べている。

第７章では、第２章から第６章までの研究成果を総括し、本研究で得られた結論と将来展望について述べている。

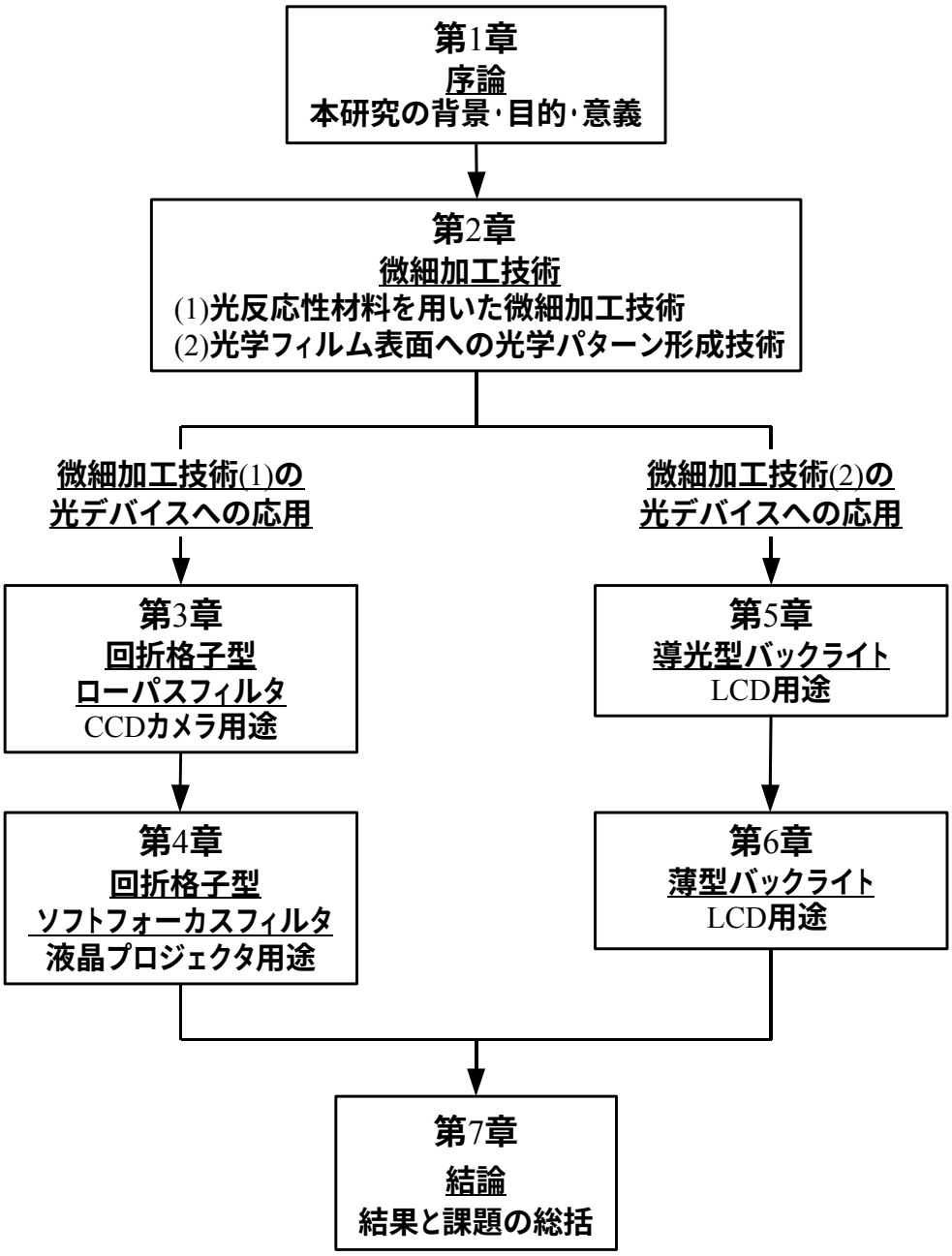

第1章
序論
本研究の背景･目的･意義
第2章
微細加工技術
(1)光反応性材料を用いた微細加工技術
(2)光学フィルム表面への光学パターン形成技術
微細加工技術(1)の
光デバイスへの応用
微細加工技術(2)の
光デバイスへの応用
第3章
回折格子型
ローパスフィルタ
CCDカメラ用途
第5章
導光型バックライト
LCD用途
第4章
回折格子型
ソフトフォーカスフィルタ
液晶プロジェクタ用途
第6章
薄型バックライト
LCD用途
第7章
結論
結果と課題の総括

図１．２　本論文の構成

参考文献

1) 小島　忠：「光ディスク用非球面プラスチックレンズ」、応用物理、Vol.57、No.5、1988、pp.762-764.

2) H. Nishihara, S. Inohara, T. Suhara, and J. Koyama: “Holo-Coupler”, IEEE J. Quantum Electron., Vol.QE-14, 1975, pp.794-796.

3) C. Kojima, K. Miyahara, K. Hasegawa, T. Otobe, and H. Ooki: “In-Line Hoographic Lenses of High Numerical Aperture”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol.20 Supl.20-1, 1981, pp.199-204.

4) T. Fujita, H. Nishihara, and J. Koyama: “Fabrication of Micro Lenses Using Electron Beam Lithography”, Opt. Lett., Vol.6, 1981, pp.613-615.

5) G. Hatakoshi, M. Yoshimi, and K. Gotoh: “Off-Axis Grating Lenses Fabricated by EB Lithography”, 4th Int. Conf. on Integrated Optics and Optical Fiber Commun. (IECE, Tokyo, 1983), Technical Digest 29A2.

第２章　微細加工技術

２．１　はじめに

従来よりプラスチック材料の加工技術として用いられている機械切削、レーザー描画、干渉露光、電子ビーム描画、およびこれらの技術で作製された金型を用いた射出成型、押出成型などは、デジタル画像の入出力装置向け光デバイスに要求されるパターンの微細化、パターン断面形状の精密制御、大面積化、薄型化に対応できないという課題があることを第１章で述べた。

本章では、パターンの微細化と断面形状の精密制御に対応可能な加工技術として、パターン形成能を有すると共に光デバイスの構成素材となるプラスチック材料を用いた微細加工プロセスを提案する。また、感光性高分子にドーパントを添加した光反応性材料の溶液をガラス基板の表面に製膜し、紫外線照射による屈折率や断面形状の変化量を測定にすることによって、断面形状が制御された微細なパターンを形成でき、このようなプロセスより作製された光デバイスはデジタル画像の入出力装置に適していることを確かめる。

次いで、パターンの微細化と断面形状の精密制御に加えて、光デバイスの大面積化と薄型化にも対応可能な加工技術として、光硬化性樹脂を用いて光学フィルムの表面に微細パターンを形成するという微細加工プロセスを提案する。また、半導体の製造に用いるフォトレジストを用いて微細パターンが形成されたガラス原盤を作製し、電鋳法によりガラス原盤から金属スタンパを作製後、光硬化性樹脂を用いて光学フィルムの表面に転写された光デバイスの断面形状を測定し、デジタル画像の入出力装置向けに適していることを確かめる。更に、金属スタンパをロール状にすることにより、ロール･トゥ･ロール方式による連続成型技術も適用可能であることを議論している。

２．２　光反応性材料を用いた微細加工技術

パターン形成用プラスチック材料は、パターン形成プロセスで一時的に使用されるフォトレジスト、およびパターン形成能を有すると共に光デバイスの構成素材になるプラスチック材料に大別される。ここでは後者に着目し、紫外線照射によって体積と屈折率が増加する光反応性材料とこれを用いた微細加工プロセスを開発した。

Chandross 等はメチルメタクリレートとグリシジルメタクリレートの共重合体に、ドーパントとしてエチル 2-(1-ナフチル)アクリレートを加えて製膜し、紫外線を照射

後未反応のドーパントを加熱除去した結果、露光部は遮光部に比べて膜厚が約 15%、および屈折率が 1.3%高くなる現象を見出すと共に、この手法を”Photolocking 法”と名付けた [1]。光デバイスのパターン形成に際しては、膜厚と屈折率の増加が極力大きいことが望ましいが、種々の高分子とドーパントの研究によって、膜厚は 10～15%、および屈折率は 1.2%増加することや解像度は 1,200lines/mm 以上に達することが確認されている [2-4]。

本研究では、低分子容、低屈折率成分として非共役 2 重結合を有するメタクリル酸エステルと MMA の共重合体を感光性高分子に用い、また高分子容、高屈折率成分として芳香族ケトンをドーパントして用いることにより、膜厚や屈折率の変化量が大きく、微細パターンの断面形状を制御可能な微細加工を試みた。

２．２．１　光反応性材料

感光性高分子には、非共役 2 重結合が多いためドーパントとの光反応性に優れており、かつ耐熱温度の高いメチルメタクリレート(MMA)、2-ブタニルメタクリレート(BMA)、およびゲラニルメタクリレート(GMA)の共重合体を用いた [5]。また、ドーパントには、膜厚や屈折率の変化に寄与するフェニル基が多く、かつ光反応速度が速い 3-ベンゾイルベンゾフェノン(BBP)を用い、三塩化アルミニウムの存在下でベンゼンとイソフタロイルクロリドの Friedel-Crafts 反応により合成した [6]。

感光性高分子とドーパントの構造をそれぞれ図２．１と図２．２に示している。

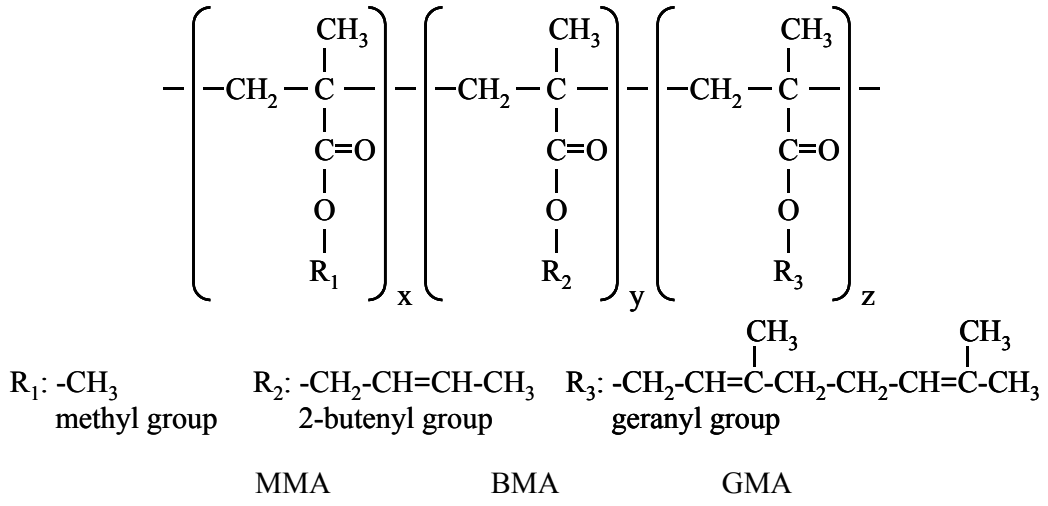


図２．１　光反応性材料に用いた感光性高分子

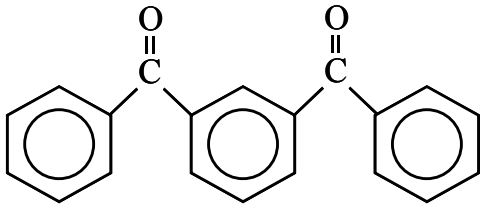


図２．２　光反応性材料に用いたドーパント

２．２．２　微細加工プロセス

図２．１および図２．２に示している感光性高分子とドーパント、および基板との濡れ性を向上するための界面活性剤をトルエンに溶解し、光反応性溶液を調製した。トルエンに対する感光性高分子の割合は、スピンコート法による製膜に必要な粘度に調整するため、8.33wt.%とした。また、ドーパントの割合を多くすると膜厚や屈折率の変化量が大きくなったが、多過ぎると製膜後にドーパントが析出したため、析出しない範囲内で最大の 6.67wt.%とした。界面活性剤には信越シリコン製メチルシリコーン用い、3.33×10^{-3}wt.%の割合で溶解した。

基板には厚さ 1.0mm のガラスを用い、中性洗剤で洗浄後、120℃、1 時間の乾燥を行った。0.2μm の膜フィルタによって濾過した光反応性溶液をガラス基板にスピンコートし、2.5μm の厚さに製膜後、60℃、30 分の熱処理を行うことによって感光膜を形成した。スピンコートには、エイブル製スピンコーターRDS-2 を用いた。次いで、フォトマスクを介して、波長 365nm における光量が 35mW/cm^2 の紫外線を照射し、感光性高分子中の非共役 2 重結合とドーパントを反応させた。紫外線照射には、キャノン製マスクアライナ PLA-521 を用いた。最後に、1Torr 以下の真空中で 97℃、17 時間の加熱処理を行うことによって未反応のドーパントを昇華させ、フォトマスクのパターンを感光膜に形成した。

図２．３に光反応性材料を用いた微細加工プロセスを示している。

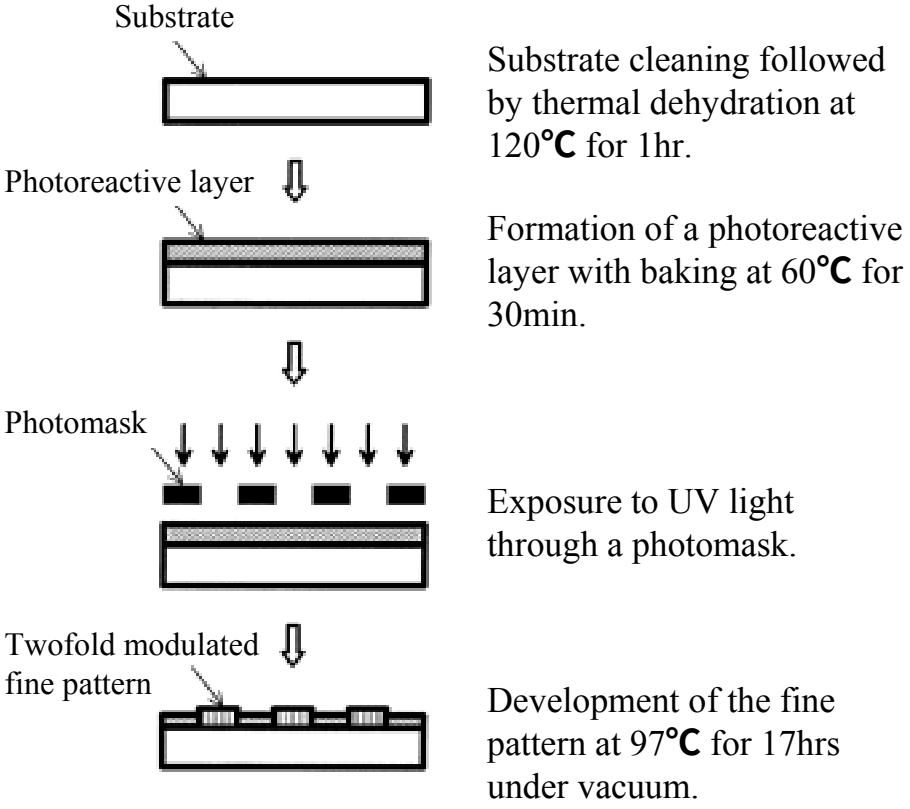


図２．３　光反応性材料を用いた微細加工プロセス

２．２．３　膜厚と屈折率の変化量

紫外線照射時の露光量を変えたときの感光層の膜厚の変化量ΔDおよび屈折率の変化量ΔNを図２．４に示している。ΔDとΔNは式(2.1)および式(2.2)で定義され、D_aとN_aは露光部の膜厚と屈折率、およびD_bとN_bは遮光部の膜厚と屈折率を示している。

$$\Delta D = \frac{D_a - D_b}{D_b} \tag{2.1}$$

$$\Delta N = \frac{N_a - N_b}{N_b} \tag{2.2}$$

膜厚は溝尻製二光束干渉顕微鏡により測定し、屈折率は波長 632.8nm の He-Ne レーザーを用いたプリズム結合法により測定した。その結果、図２．４のように膜厚と屈折率は露光量によって増大し、それぞれ 85%と 3%でほぼ飽和した。また、半導体の製造に用いられているフォトレジストとは異なり、紫外線の露光量による膜厚と屈折率の変化が緩やかであるため、露光量の調整によってパターンの断面形状を精密に制御可能であることが確認された。

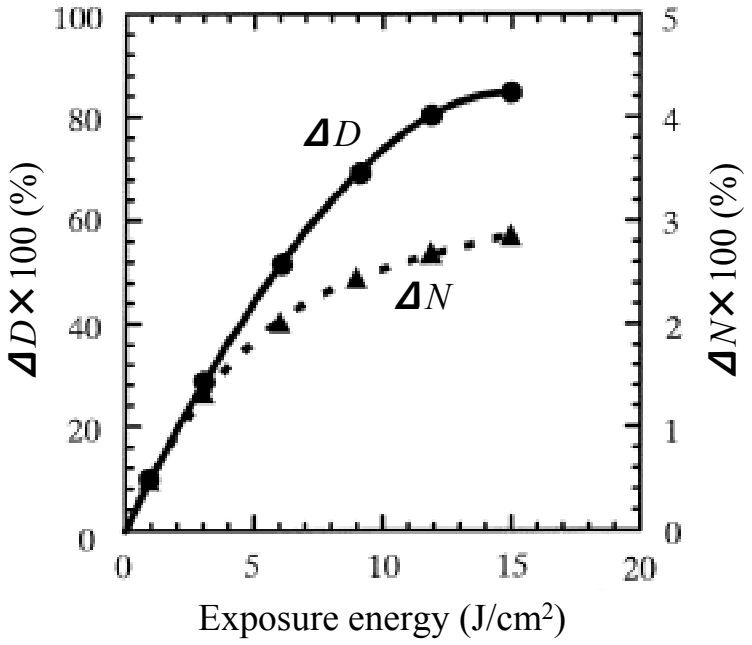


図２．４　紫外線の照射量を変えたときの膜厚と屈折率の変化量

２．３　光学フィルム表面への微細パターン形成技術

第１章で述べたように、従来よりプラスチック材料として、PMMA、PC、MS のような熱可塑性樹脂と CR-39 のような熱硬化性樹脂が広く用いられている。熱可塑性樹脂に広く使用される射出成型法や押出成型法は、優れた生産性、品質の安定性などにより信頼ある品質に適している。また、熱硬化性樹脂に適用される注型成型法は、プラスチック材料に有する高機能の発現や多様な形状への対応などの特徴を有している。近年では、より高度な光学特性や耐熱性などの市場ニーズに対応する高品質、高生産

性なプラスチック材料の実現を目指し、光硬化性樹脂およびこれを用いた光デバイスの開発が進められている。東芝では、CD プレーヤ用グレーティングレンズを射出成型法で作製するとプラスチック材料を金型に供給するためのゲート部の影響によりコマ収差や複屈折が発生するため、光硬化性樹脂を用いた成型技術（UV 成型）で作製することによって、0.02λ以下の波面収差や 82%という理論限界値の集光スポット強度を達成している[7)]。

本研究では、半導体の製造に使用されているフォトレジストを用いて表面に微細パターンが形成されたガラス原盤を作製し、このガラス原盤から金属スタンパを転写後、光硬化性樹脂を用いて光学フィルムの表面に微細なパターンを形成することにより、パターンの微細化と断面形状の精密制御に加えて、光学デバイスの大面積化と薄型化を実現可能な微細加工を試みた。

２．３．１　微細パターン形成プロセス

フォトレジストには Clariant 製 AZ-400 を用い、スピンコート法によってガラス基板に厚さ 30μm 製膜後、熱処理を行うことによって感光層を形成した。次いで、光学設計に基づいてパターンを形成したフォトマスクを介して、紫外線を照射した。このとき、感光層とフォトマスクの間隔を調整することによりパターンの傾きを制御すると共に、紫外線の露光量を調整することによりパターンの深さを制御することによって、目的とするパターン断面形状を形成した。また、より精密なパターン断面形状の制御が必要な場合は、光学パターンの設計データを CAD データに変換し、感光層を形成したガラス基板を XY ステージに設置後、XY ステージを移動しながら波長 413nm のレーザー光源の光強度を制御するというレーザー直接描画法を用いた。最後に、現像液を用いて現像処理を行い、ガラス原盤を作製した。このガラス原盤から、光ディスクの製造に広く利用されている電鋳法によってニッケル製スタンパを作製した。

光学フィルムには、厚さ 0.125mm の PMMA 系フィルムを用いた。また、光硬化性樹脂には、光学フィルムとの界面での反射を抑えるため硬化後の屈折率が 1.52 と PMMA 系フィルムの 1.50 とほぼ等しく、かつ PMMA 系フィルムと強い接着力が得られるように調製された東亜合成製 ARONIX UVX-2378 を用いた。光硬化性樹脂をスタンパに滴下し、光学フィルムを載せた後、光学フィルム側から紫外線を照射することによって光硬化性樹脂を硬化した。最後に、スパンパから剥離し、微細な光学パターンが形成されたフィルム（光学パターン形成フィルム）を作製した。

図２．５に光学フィルム表面への微細パターン形成プロセスを示している。このプ

ロセスによって、大きさ 300×300mm²、厚み 0.2mm 以下という大面積かつ薄型な光デバイスを作製可能になった。

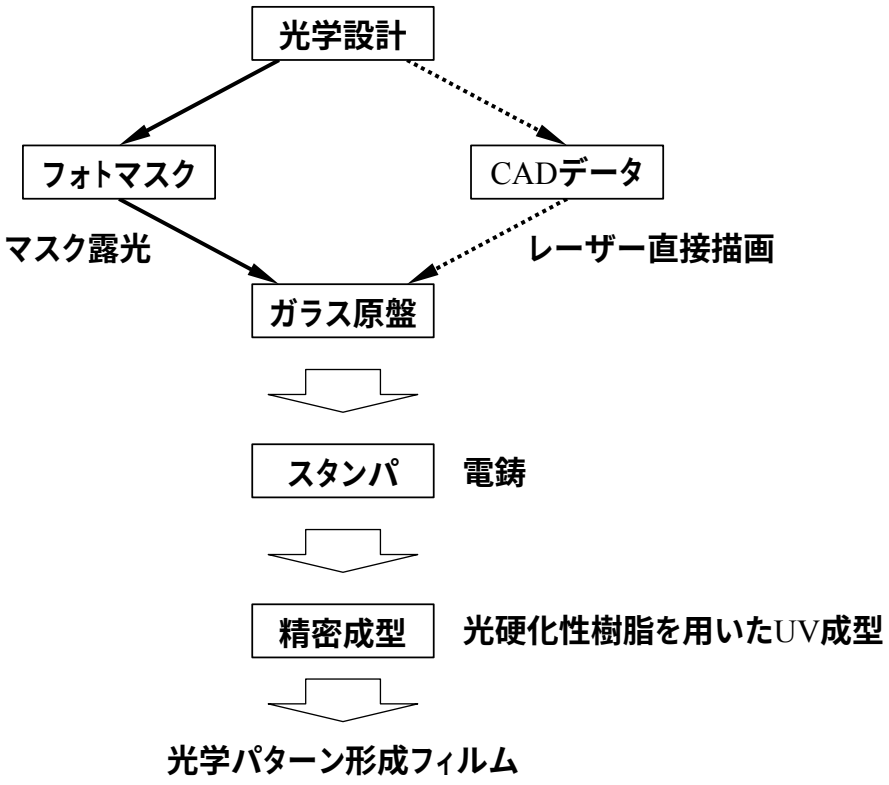
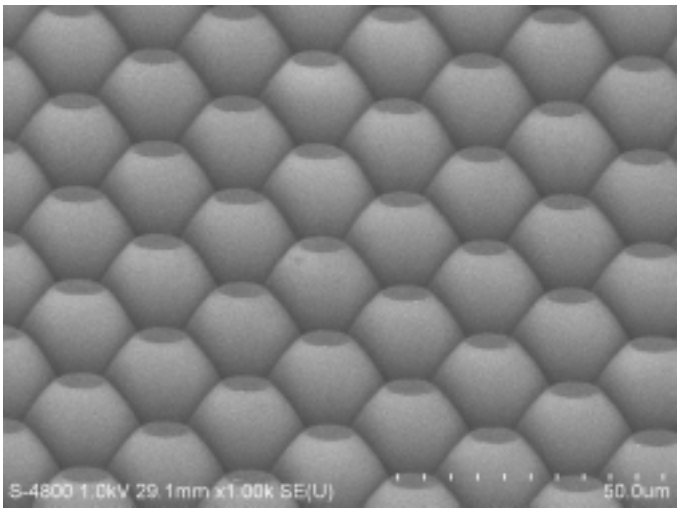


図２．５　光学フィルム表面への微細パターン形成プロセス

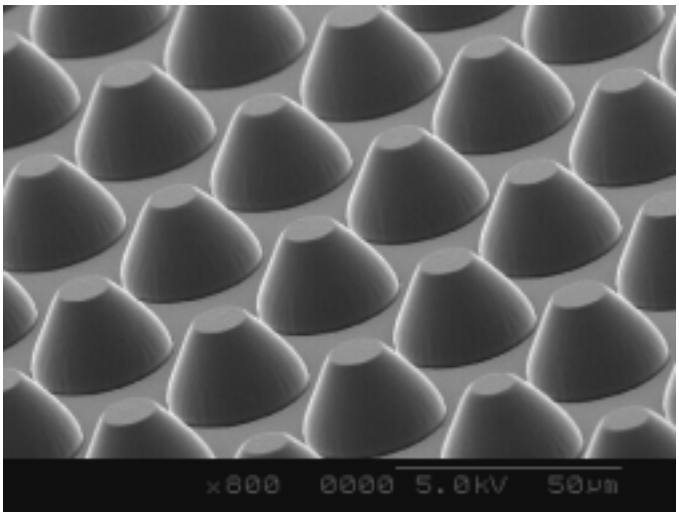
２．３．２　微細パターンの形状

図２．５のような微細パターン形成プロセスを用いて作製した導光型バックライト向け光学パターン形成フィルムのパターン形状を図２．６に示している。

図２．６（ａ）のパターンはマスク露光法で作製したガラス原盤を用いたマイクロレンズ状パターンであり、レンズの直径と高さはそれぞれ 50μm と 20μm である。また、図２．６（ｂ）のパターンは、導光型バックライトの光源に LED を用いるためには断面形状をより精密に制御することが必要であったため、レーザー直接描画法で作製したガラス原盤を用いたマイクロレンズ状パターンである。このレンズの直径と高さはそれぞれ 32μm と 22μm である。



（ａ）



（ｂ）

図２．６　（ａ）マスク露光法および（ｂ）レーザー直接描画法で作製したガラス原盤を用いた光学パターン形成フィルムのパターン形状

２．３．３　連続成型技術への適用

熱可塑性樹脂を用いる射出成型法や押出成型法などは、溶融した樹脂が金型中で固化するまでの冷却時間が律速工程になる。また、熱硬化性樹脂を用いる注型成型などは、金型中での熱硬化時間が律速工程になる。こられに対して、光硬化性樹脂を用い

る UV 成型法は、紫外線照射による光硬化が律速工程であり光硬化は短時間で進行するため、他の成型法に比べて成型時間が短い。このため、ガラス原盤から作製したスタンパをロール状に加工し、ロールから巻き出した光学フィルムの表面にスロットダイコーターによって光硬化性樹脂をコート後、スタンパに巻き付けながら紫外線を照射し硬化する。最後に、ロールに巻き入れるというプロセスによって、ロール・トゥ・ロール方式による連続成型技術が適用可能になる。光硬化性樹脂を用いた連続成型プロセスを図２．７に示している。

図２．７の連続成型プロセスに基いて、実際に製作した連続成型試験装置を図２．８に示している。この連続成型試験装置を用いて作製したロール状の光学パターン形成フィルム、およびこのフィルムから切出した光デバイスの写真を図２．９に示している。材料には、図２．５に示している加工プロセスと同様の厚さ 0.125mm の光学フィルムと光硬化性樹脂を用いた。ロール状の光学パターン付きフィルムの有効幅は 300mm、厚みは 0.2mm であり、切出した光デバイスの大きさは 80×60mm^2 である。更に、厚み 0.1mm の光学フィルムを用い、光硬化性樹脂層の厚みを 50μm まで薄くすることによって、厚み 0.15mm の光学パターン形成フィルムも作製可能なことが確認された。

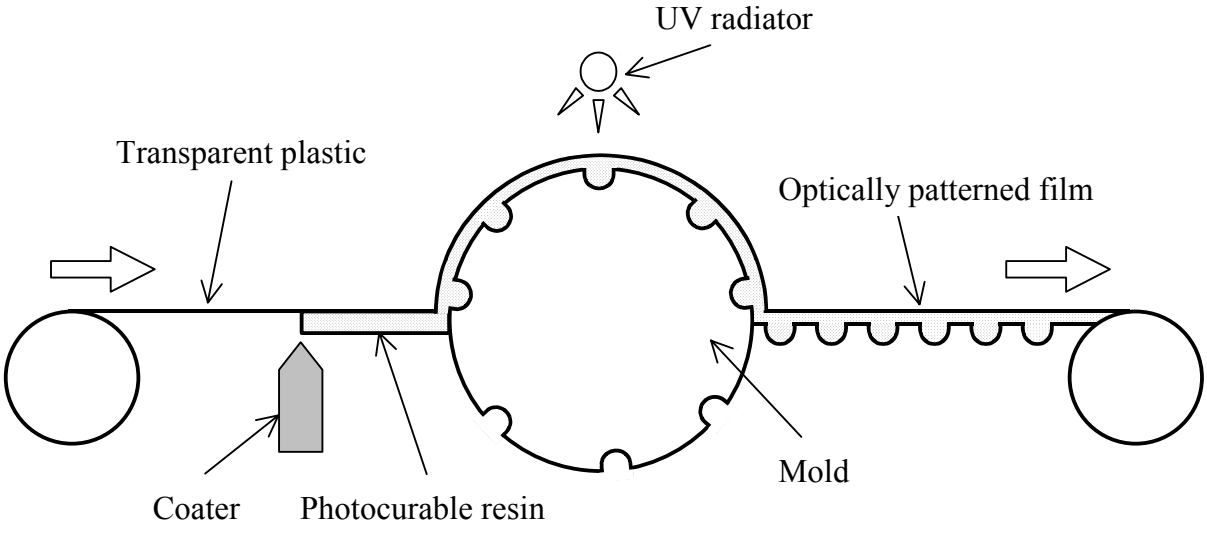


図２．７　光硬化性樹脂を用いた連続成型プロセス

図２．８　実際の連続成型試験装置

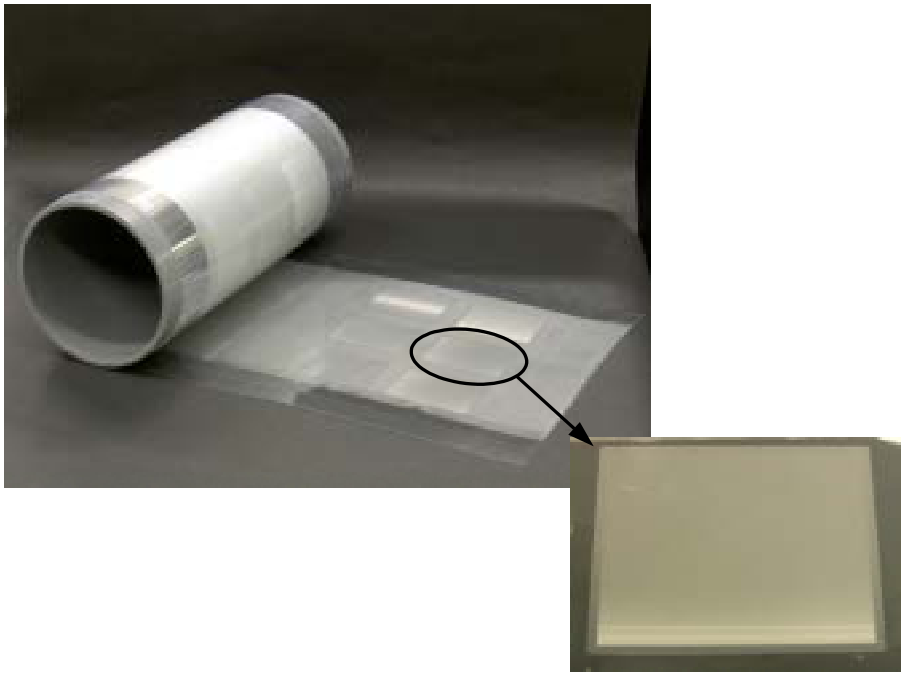


図２．９　連続成型試験装置で作製した光学パターン形成フィルム

２．４　まとめ

パターンの微細化や断面形状の精密制御、および光デバイスの大面積化や薄型化を実現可能なプラスチック材料の微細加工技術の開発を目的として、光反応性材料を用いた微細加工技術、および光硬化性樹脂を用いた光学フィルム表面への微細パターン形成技術を考案した。このような微細加工プロセスによって光デバイスの試作、評価を行い、諸特性を明らかにした。以下に得られた結論を示す。

（１）解像度 1,200lines/mm 以上という微細なパターンを形成可能な Photolocking 法を応用した感光性高分子とドーパントからなる光反応性材料は、紫外線照射によって膜厚 85%、および屈折率 3%と大きな変化量を示す。更に、紫外線の照射量による変化が穏やかであるため、この光反応性材料を用いた微細加工技術は、紫外線の照射量を調整することによってパターンの断面形状を精密に制御することができる。

（２）光硬化性樹脂を用いた光学フィルム表面への微細パターン形成技術は、微細パターンの形状を制御できるため、レンズ径が 100μm 以下というマイクロレンズを形成可能である。更に、大きさ 300×300mm^2、厚さ 0.2mm 以下という大面積かつ薄型の光デバイスを実現可能である。

（３）光硬化性樹脂を用いた光学フィルム表面への微細パターン形成技術は、ガラス原盤から作製されたスタンパをロール状にすることによって、ロール・トゥ・ロール方式の連続成型技術を適用でき、生産性の向上を図ることができる。

以上、新しく提案したプラスチック材料の微細加工技術により、パターンの微細化や断面形状の精密制御、更には大面積化や薄型化が可能になり、デジタル画像の入出力装置向け光デバイスの微細加工技術として有望であることを示した。

参考文献

1) E. A. Chandross, C. A. Pryde, W. J. Tomlison, and H. P. Weber: “Photolocking-A New Technique for Fabricating Optical Waveguide Circuits”, Appl. Phys. Lett., Vol.24, 1974, pp.72-74.

2) W. J. Tomlinson, H. P. Weber, C. A. Pryde, and E. A. Chandross: “Optical Directional Couplers and Grating Couplers Using a New High Resolution Photolocking Material”, Appl. Phys. Lett., Vol.26, 1975, pp.303-306.

3) H. Franke: “Optical Recording of Refractive-Index Patterns in Doped Poly(methyl methacrylate) Films”, Appl. Opt., Vol.23, 1984, pp.2729-2733.

4) W. Driemeier and A. Brockmeyer: “High-Resolution Photorefractive Polymer for Optical Recording of Waveguide Gratings”, Appl. Opt., Vol.25, 1986, pp.2960-2966.

5) N. Kawatsuki, R. Watanabe, T. Tokuhara, M. Uetsuki, S. Nagata, and H. Ichimura: “High-Temperature Stable Photopatternable Copolymers - Synthesis, Optical-Properties, and Photopatterning Process Studies”, J. Appl. Polym. Sci., Vol.53, 1994, pp.973-983.

6) N. Kawatsuki and M. Uetsuki: “Optical Phase Gratings Made from Photorefractive Polymers”, Appl. Opt., Vol.29, 1990, pp.210-215.

7) 樋口　義則、森　一成、高橋　俊介、後藤　顕也、上田　勝宣、海陸　嘉徳:「光回折効率グレーティングレンズ(3)」、第 46 回応用物理学術講演会、講演予稿集、3a-X-10、1985、pp.107.

第３章　回折格子型光学的ローパスフィルタ

３．１　はじめに

ビデオカメラやデジタルカメラなどの撮像素子として用いられている CCD は、CCD の画素および撮像面に設置されたカラーフィルタによって、入力画像を輝度信号および色信号に変換してる [1)]。画素およびカラーフィルタは 2 次元的に規則正しく配置されているため、入力画像との間でモアレが発生し、輝度や色の偽信号として撮像される [2-4)]。このような課題を解決するために、CCD カメラの光学系には光学的なローパスフィルタ(OLF)が設置されている。

OLF の機能を有する光デバイスとして、レンキュラレンズ [5)]、複屈折板 [6-12)]、回折格子 [13, 14)]が知られている。しかし、レンチキュラレンズには作製が困難であるという課題があるため、OLF として用いられていない。現状の CCD カメラには、水晶を用いた複屈折板が OLF として使用されている。水晶板の OLF 性能は入射光が常光と異常光に 2 分割されるという二重像現象を利用しており、CCD カメラに複数個発生する偽信号を防止するため、光学軸の異なる水晶板を複数枚重ね合わせて用いる必要がある。また、水晶板は複屈折率が小さいため、厚みを厚くする必要があり、CCD カメラの小型軽量化を妨げるという課題がある。

回折格子型光学的ローパスフィルタ(GOLF)は、水晶板を用いた OLF に比べて薄型や安価という特徴がある。しかし、被写体が明るく撮像レンズの絞りが小さくなった場合に回折格子の像が被写体に重なって撮像されるという課題、および回折格子と CCD の画素やカラーフィルタとの間にモアレが発生する課題がある。また、コントラストの高い鮮明な画像を得るためには、回折格子の断面形状を正弦波状にし、±2 次以上の回折強度を低減する必要があるが、理想的な断面形状を形成することが困難であった。本章では、光反応性材料を用いた微細加工技術によって、回折格子の像やモアレが発生するという課題を解消すると共に、鮮明な画質を得るために断面形状を正弦波状にした GOLF について述べている。

３．２　光学的ローパスフィルタの機能

CCD カメラは画素および CCD の撮像面に設けられたカラーフィルタによってカラー画像を撮像しており、カラーフィルタは図３．１のように周期的、かつ非連続に配置されている。このため、画素の周期と同じ空間周波数が含まれる被写体を撮像する

と画素と被写体との間でモアレが発生し、輝度の偽信号として現れる。一方、被写体に含まれる空間周波数がカラーフィルタのアレイ周期と同じ場合は、色の偽信号が発生する。例えば、OLF が設置されていない CCD カメラでサーキュラーゾーンプレート・チャート(CZP チャート)[15]を撮像した場合、CZP チャートは図の中央部に中心を持つ同心円であるにもかかわらず、図３．２のように複数の偽信号が発生する。

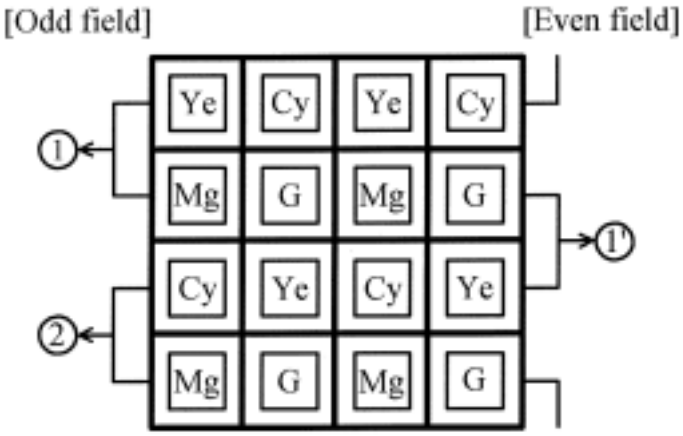


図３．１　CCD の撮像面に設けられたカラーフィルタの構造

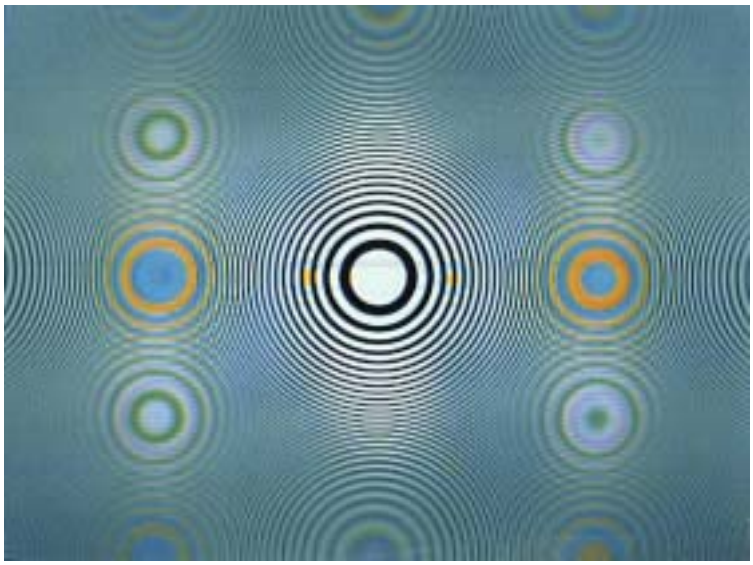


図３．２　OLP が設置されていない CCD カメラで撮像した CZP チャート

偽信号の発生原因や解消の解明には、標本化定理 [16]が適用可能である。CCD の画素の開口が無限に小さいと仮定すると、水平方向と垂直方向の画素周期はそれぞれ X および Y と記述される。被写体を帯域幅が x 方向は$(-F_x, F_x)$、y 方向は$(-F_y, F_y)$で制限された関数 $g(x, y)$で表すと、CCD カメラによる撮像は図３．３のような関数で標本化すると表現できる。

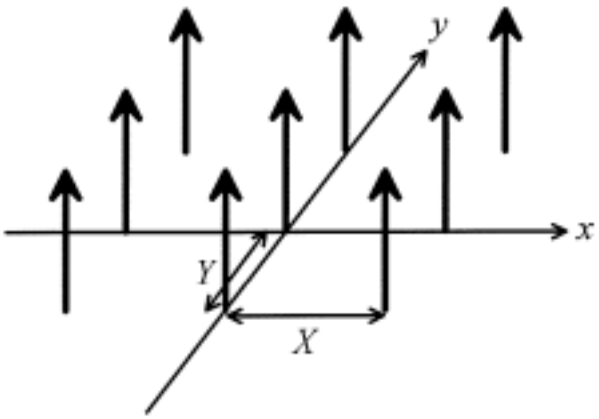


図３．３　CCD カメラによる標本化

$g(x, y)$をフーリエ変換したスペクトルを $G(f_x, f_y)$とすると、標本化されたスペクトルは、図３．４のように f_x 方向の間隔 $1/X$、f_y 方向の間隔 $1/Y$ で元の $G(f_x, f_y)$が周期的に並んだものになる。ただし、図３．４では、標本化の間隔が小さく、$X \leqq F_x/2$ および $Y \leqq F_y/2$ の関係であるため、各スペクトルは分離している。このようなスペクトルは、帯域幅が$(-X/2, X/2)$および$(-Y/2, Y/2)$である理想的なローパスフィルタを通すことにより、元のスペクトルに戻すことができる。

被写体に含まれる周波数成分 F_x および F_y が、CCD のナイキスト周波数 $fn_x(=X/2)$ および $fn_y(=Y/2)$より小さければ、CCD の出力信号を電気的なローパスフィルタに通すことにより偽信号を防止することができる。しかし、被写体には CCD のナイキスト周波数より高い空間周波数を含んでいるため、図３．５のようなスペクトルの重なりが生じ、偽信号の起因になるエリアジングが発生する。従って、ナイキスト周波数より高い空間周波数を除去するための OLF が必要である。

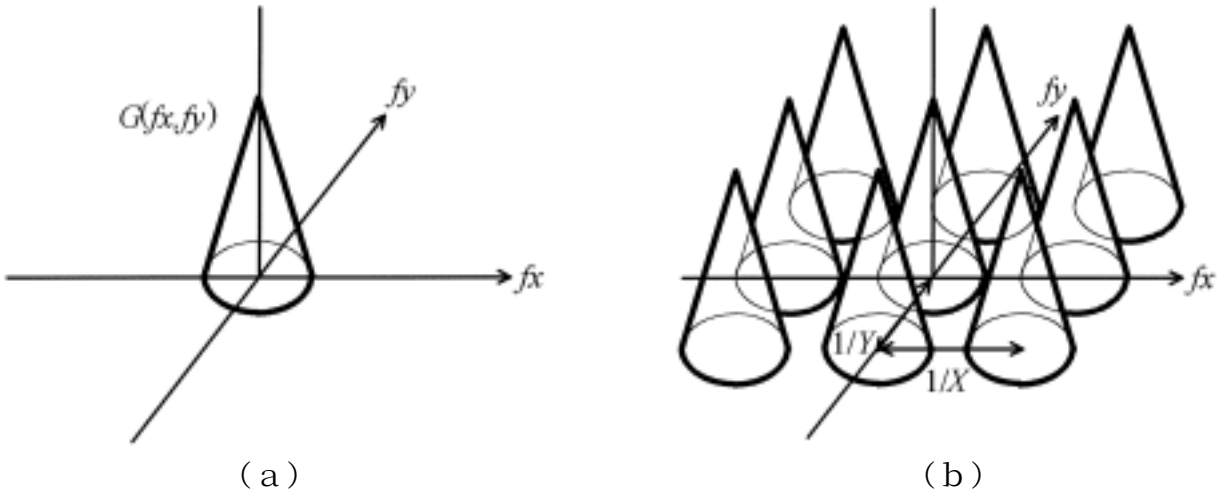


図３．４　標本化されたスペクトルが完全に分離している場合の（ａ）元のスペクトルと（ｂ）標本化されたスペクトル

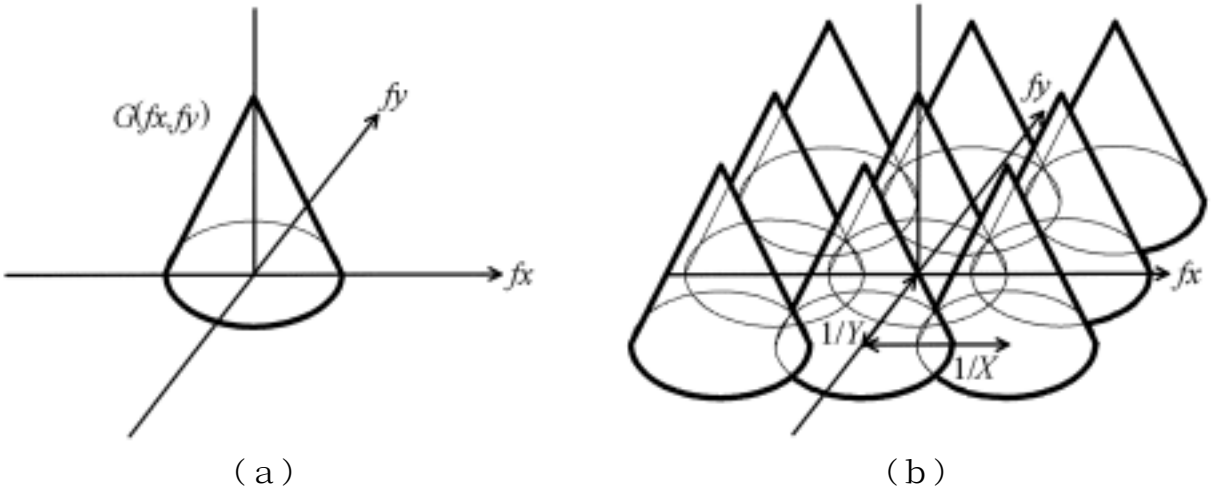


図３．５　標本化されたスペクトルが重なっている場合の（ａ）元のスペクトルと（ｂ）標本化されたスペクトル

３．３　回折格子型光学的ローパスフィルタの設計

CCD カメラで取り扱う光源は自然光であり、GOLF はインコヒーレントな結像系でフィルタリングを行うことになる。インコヒーレント光学系では、レーザー光などのコヒーレント光学系とは異なり光の位相を対象とせず強度のみを対象とするため、位相まで考慮されるフーリエスペトル面が存在しない。従って、光学系の瞳面に GOLF を配置し、MTF を合成してフィルタリングを行うことになる。GOLF を配置した光学系の MTF 特性は、瞳関数の自己相関として求めるか、あるいは点像関数をフーリエ変換することによって求めることができる。本章では、GOLF を用いた CCD カメラで鮮明な画像を得ることを目的に、各種断面形状を有する回折格子の LSF をフーリエ変換することによって MTF 特性を求め、断面形状が MTF 特性に与える影響を明らかにしている。

また、明るい被写体を撮像すると撮像レンズの絞りが絞り込まれ、GOLF を用いた CCD カメラでは回折格子の像が発生する。回折格子像の発生は、絞りが絞り込まれると瞳面での開口の大きさが小さくなり、開口内に含まれる格子本数が少なくなるため、開口と回折格子の空間的な位相の関係で回折効率が変化し、撮像面での光強度に周期的な強弱ができることが原因である。このような回折格子像を解消することを目的に、回折格子の周期と CCD の画素およびカラーフィルタのアレイ周期の関係が回折格子像に与える影響について議論している。

３．３．１　ＭＴＦ特性の向上

断面形状が（ａ）矩形波状、（ｂ）台形波状、および（ｂ）正弦波状の格子パターンが 1 方向のみ形成された回折格子を図３．６のように配置した場合の MTF 特性を求めた。ここで、x 軸と u 軸は、それぞれ瞳面および像面を表している。図３．７には遮断周波数が同じになるように設定した場合の LSF を示しており、u 軸は図３．６と同じ像面である。また、図３．８には、図３．７の LSF をフーリエ変換することによって得られた MTF 特性を示している。

図３．７の結果から、断面形状が正弦波状の回折格子は、矩形波状や台形波状の回折格子に比べて±2 次以上の高次回折光の強度が小さいことが分る。実効的な回折効率ηを、

$$\eta = \frac{P_0 + P_{+1} + P_{-1}}{P_A} \tag{3.1}$$

とする。ここで、P_0、P_{+1}、P_{-1}はそれぞれ、0 次、+1 次、-1 次の回折光強度であり、P_Aは全回折光の強度である。遮断周波数を 40 本/mm とすると、矩形波状の回折格子の場合、P_0/P_A、P_{+1}/P_A、P_{-1}/P_Aはそれぞれ 0.333、0.228、0.228 となった。また、台形波状の場合は 0.314、0.253、0.253 となり、正弦波状の場合は 0.330、0.291、0.291 となった。従って、式(3.1)から、矩形波状、台形波状、および正弦波状回折格子のηはそれぞれ、0.79、0.82、0.91 となった。このような結果から、正弦波状の回折格子は、図３．８のように矩形波状や台形波状に比べて低周波域の MTF 値が高くなり、画像コントラストの低下が少ない画像を得られることが明らかになった。

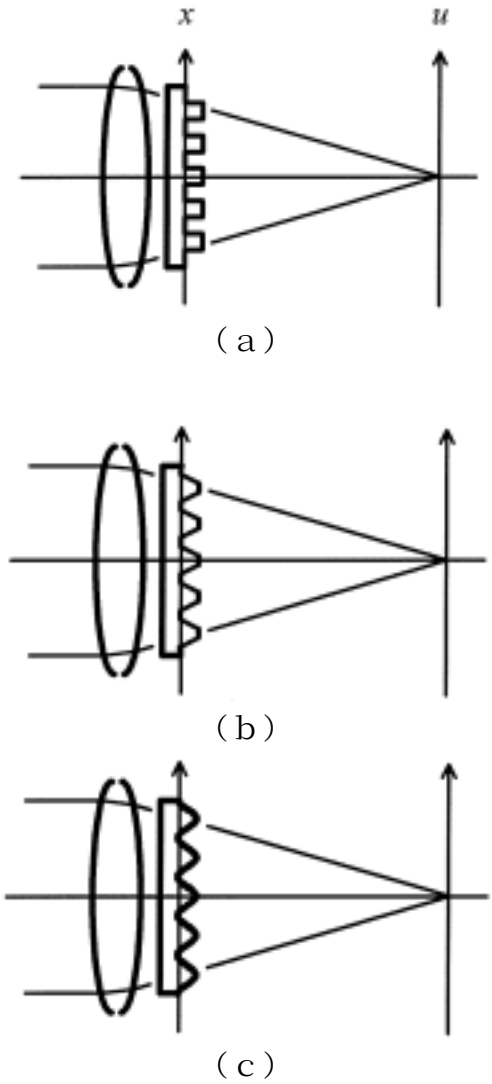


図３．６　断面形状が（a）矩形波状、（b）台形波状、（c）正弦波状の GOLF の MTF 特性の計算モデル

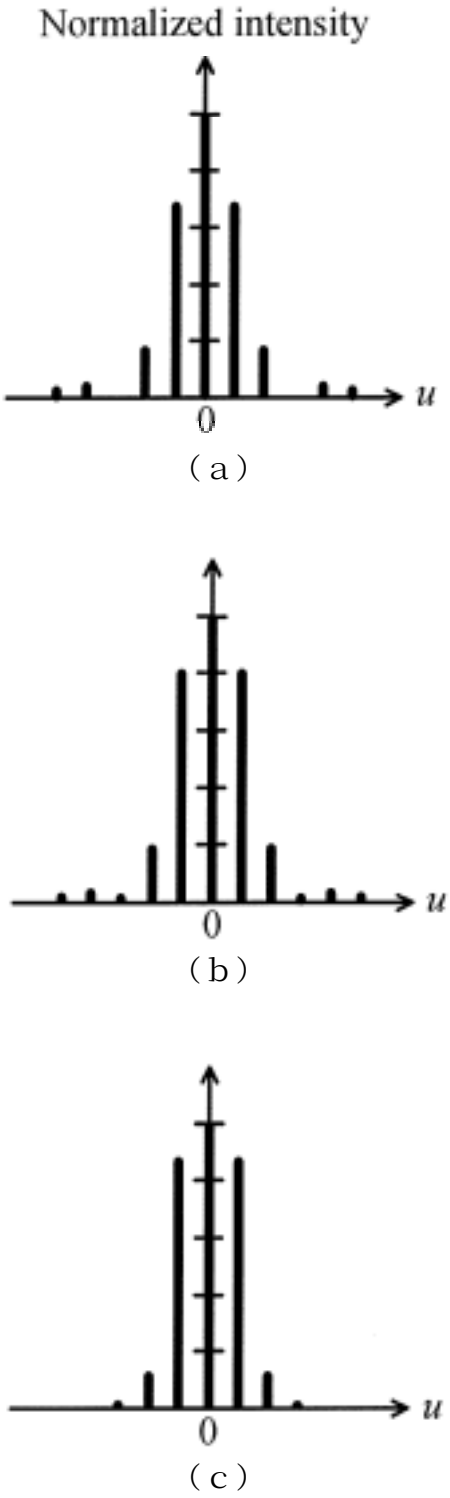


図３．７　断面形状が（ａ）矩形波状、（ｂ）台形波状、（ｃ）正弦波状の GOLF の LSF 特性

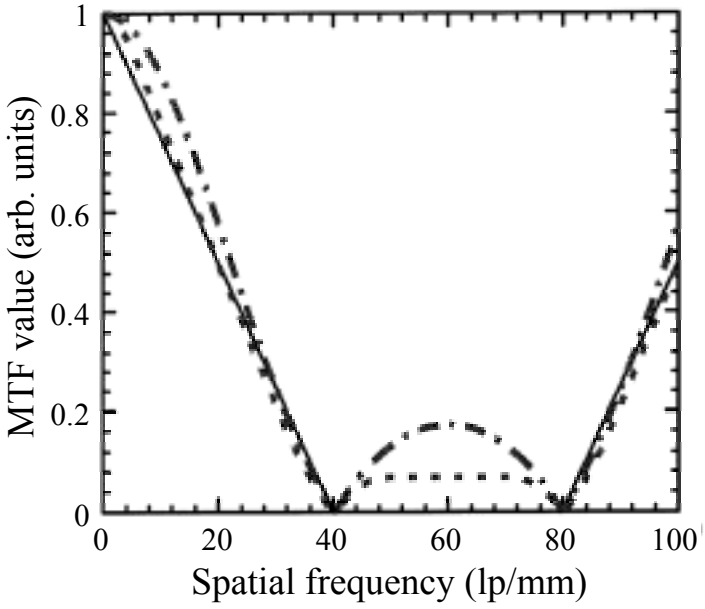


図３．８　断面形状が矩形波状（実線）、台形波状（点線）、正弦波状（一点鎖線）の GOLF の MTF 特性

３．３．２　回折格子像の対策

CCD の出力信号は、CCD の撮像面に投影される回折格子の実効的な格子周期、CCD の画素周期、およびカラーフィルタのアレイ周期の関係に影響される。

図３．９のように実効的な格子周期が画素の周期の 4 倍以上大きい場合は、回折格子によって発生する光強度の周期的な変化によって輝度信号が変調されるため、回折格子像として撮像される。一方、図３．１０のように実効的な格子周期が画素の周期と等しい場合は、光強度の周期的な変化で輝度信号が変調されないため、回折格子像は撮像されない。実効的な格子周期が画素の周期の整数分の 1 の場合にも、同様の結果が得られる。また、図３．１１のようにカラーフィルタのアレイ周期と同じ場合は、電気的な赤、青、および緑の色補正は必要だが、回折格子の像は撮像されない。

上記のような回折格子像が発生しない条件に回折格子の周期を設定した場合は、GOLF を CCD の撮像面から 500μm 以下の位置に設置する必要がある。このため、GOLF を CCD のパッケージ内に組み込むことが必要だが、CCD カメラの光学系の小型化に繋がるという利点がある。

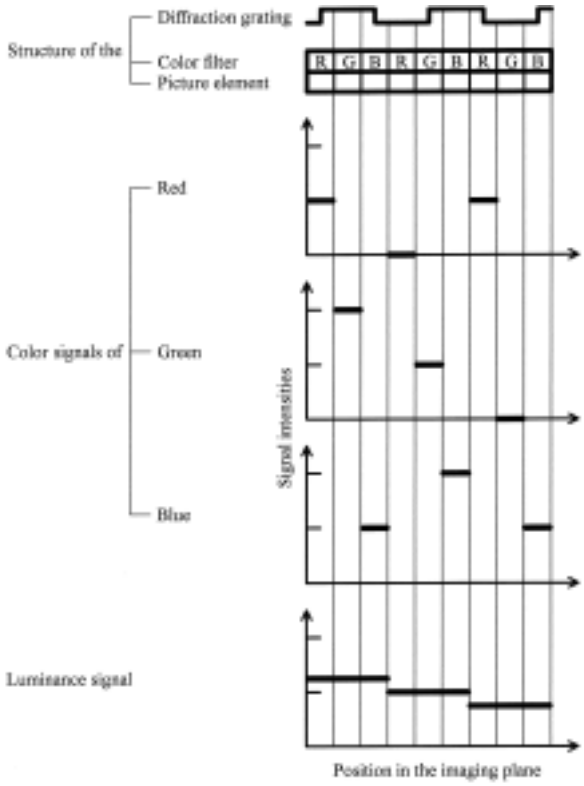


図３．９　実効的な格子周期が画素周期の 4 倍以上の場合の出力信号

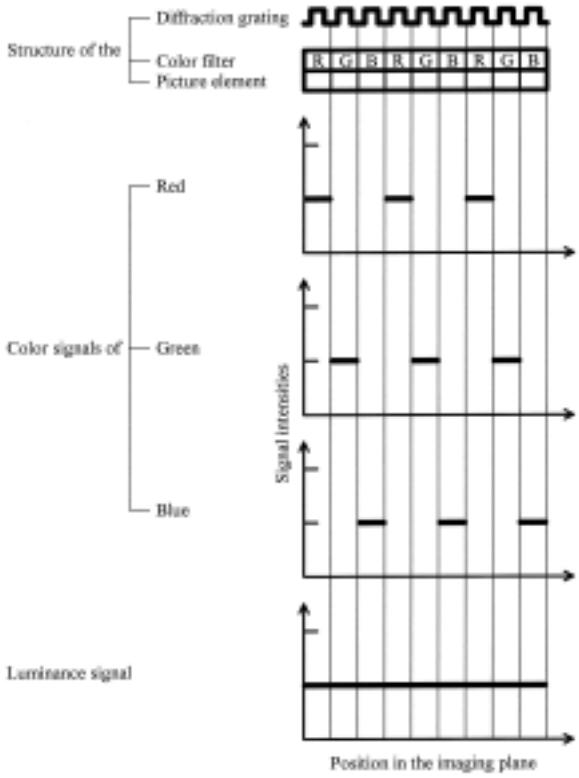


図３．１０　実効的な格子周期が画素周期と等しい場合の出力信号

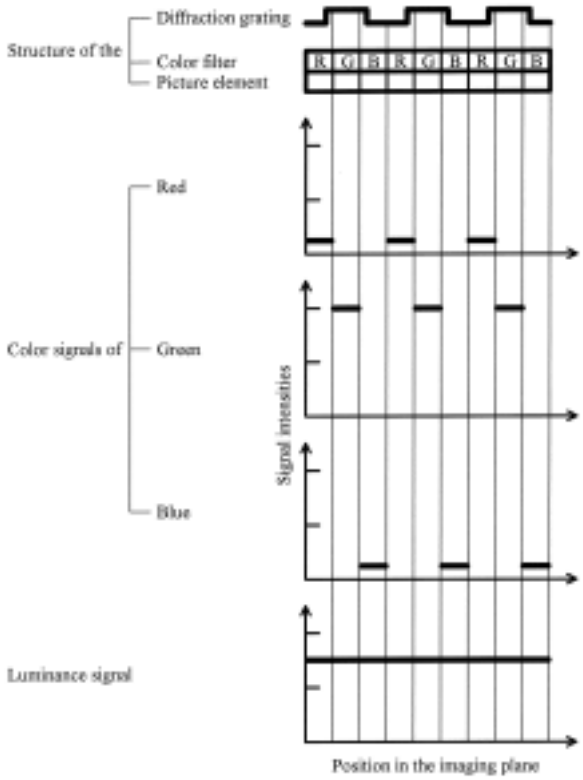


図３．１１　実効的な格子周期がカラーフィルタのアレイ周期と等しい場合の出力信号

３．４　回折格子型光学的ローパスフィルタの作製プロセス

断面形状が正弦波状の GOLF は、光反応性材料を用いた微細加工技術によって作製した。回折格子の周期はフォトマスクに形成されたパターンで設定し、また断面形状の制御はフォトマスクに形成されたパターンによる紫外線の回折現象を利用し、フォトマスクと感光膜との間隔を調整することによって正弦波状の断面を形成した。

GOLF の表面での反射光を防止するため、回折格子の両面には電子ビーム蒸着法を用いて反射防止膜を形成した。反射防止膜は、SiO_2 膜（膜厚λ/4）、TiO_2 膜（膜厚λ/2）、SiO_2 膜（膜厚λ/4）の 3 層構造とした。ここで、λは光の波長を表しており、可視光の中心波長である 550nm として各層の膜厚を設定した。次いで、GOLF の格子面と CCD の撮像面の間隔を正確に調整するため、ドライフィルムレジストを用いたフォトリソグラフィ法によって格子面にスペーサを形成した。最後に、ダイシングソーを用いて大きさ 7.9×5.4mm^2 に切断した。

GOLF の性能評価には、水平方向と垂直方向の画素周期がそれぞれ 12.7μm と

9.7μm である 25 万画素の 1/2 インチ CCD、および焦点距離 12.5～75mm、F ナンバー1.2、後側焦点距離 15.99mm の撮像レンズを用いた。

３．５　回折格子の断面形状と光学特性

作製した回折格子の断面形状と光学特性を評価することにより、GOLF として使用可能なことを確認した。

３．５．１　断面形状

Rank-Tayer-Hobson 製の表面粗さ計 Talystep を用いて、回折格子の断面形状を測定した。その結果、図３．１２のように、周期 10μm、段差 0.52μm の微細な格子パターンが形成されており、かつその断面は正弦波状であることが確かめられた。

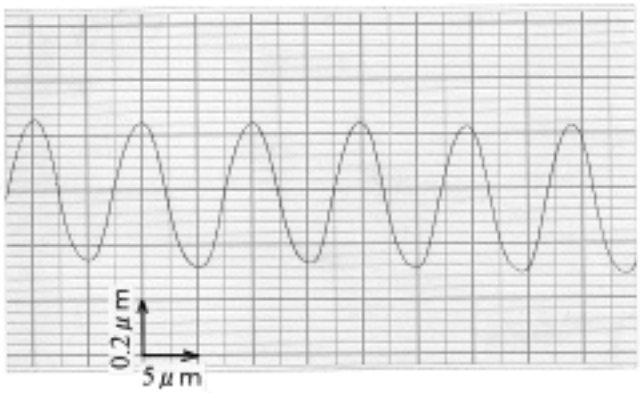
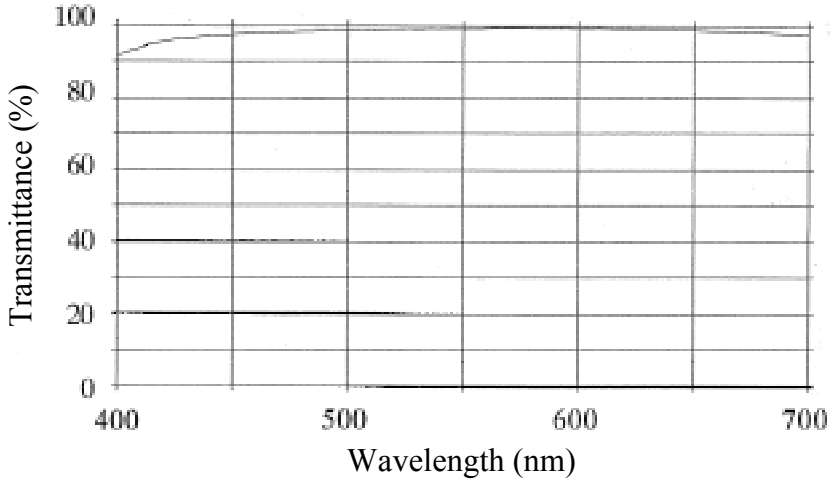


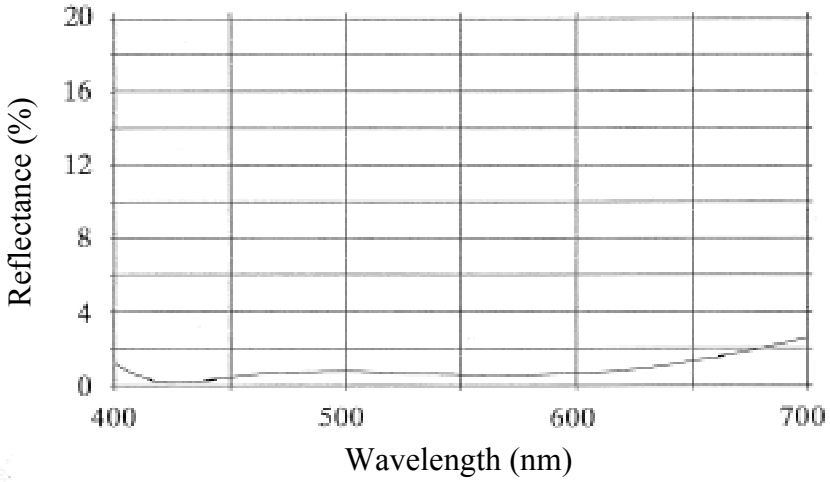
図３．１２　回折格子の断面形状

３．５．２　光学特性

光反応性材料は紫外線照射より感光性高分子とドーパントを反応させて光学パターンを形成しているため、光反応性材料を用いた光デバイスでは光吸収による光線透過率の低下が懸念される。回折格子の光線透過率と光線反射率を測定した結果、図３．１３のように平均透過率 95%以上、平均反射率 3%以下であった。従って、可視光域における光吸収は極めて少なく、画像入出力装置向け光デバイスである GOLF として使用可能であることが確かめられた。



（ａ）



（ｂ）

図３．１３　回折格子の（ａ）光線透過率と（ｂ）光線反射率

３．６　回折格子型光学的ローパスフィルタの光学性能

GOLF の光学性能は、実際に GOLF を CCD カメラに組込み、テレビモニターと波形モニターを用いて評価した。ただし、回折格子像は、明暗のコントラストが小さく波形モニターでは測定できなかったため、テレビモニターの画像により評価した。光学的ローパスフィルタとしての効果は、CZP チャートを撮像することによって輝度や

色の偽信号を評価した。また、MTF 特性は、振幅強度が正弦波状に変化する周期パターンの出力特性であるが、このようなテストパターンは作製が困難であるため入手できない。そこで、MTF 特性の代わりに、振幅強度が矩形波状に変化する周期的なパターンであるインメガサイクルチャートを用いて AR 特性 [17]を評価した。AR 特性は、インメガサイクルチャートを用いて撮像した各周波数の振幅強度を波形モニターで測定し、式(3.2)から算出した。

$$AR(N) = \frac{(N)TV\text{本の矩形波に対する振幅応答}}{\text{直流に近い矩形波に対する振幅応答}} \tag{3.2}$$

３．６．１　回折格子像

水晶板を用いた OLF と同様、図３．１４（ａ）のように GOLF を撮像レンズと CCD の間に設置した場合、光学的ローパスフィルタとして最適な遮断周波数を得るための回折格子の周期は CCD の画素の 4 倍以上になる。従って、明るい被写体を撮像すると、図３．１５（ａ）のような回折格子像が発生した。

図３．１４（ｂ）のように、回折格子の周期を CCD のカラーフィルタのアレイ周期と等しくした GOLF を CCD のパッケージ内に組み込んで評価した結果、回折格子像の無い画像を得ることはできたが、回折格子とカラーフィルタの間で色モアレが発生した。このような色モアレの発生は、CCD の撮像面では回折格子の周期が拡大投影されることが原因であり、回折格子の周期 Λ_g を式(3.3)のようにカラーフィルタのアレイ周期 Λ_f より小さくする必要があった。

$$\Lambda_g = \frac{f-d}{d}\Lambda_f \tag{3.3}$$

ここで、f は撮像レンズの後側焦点距離、また d は GOLF の格子面と CCD の撮像面の距離である。評価に用いた CCD の画素周期が 12.7μm、また撮像レンズの後焦点距離が 15.99mm であるため、回折格子の周期を 12.54μm とし、格子面と撮像面の距離を 200μm に設定することによって、図３．１５（ｂ）のような回折格子像および色モアレの無い画像を得ることができた。

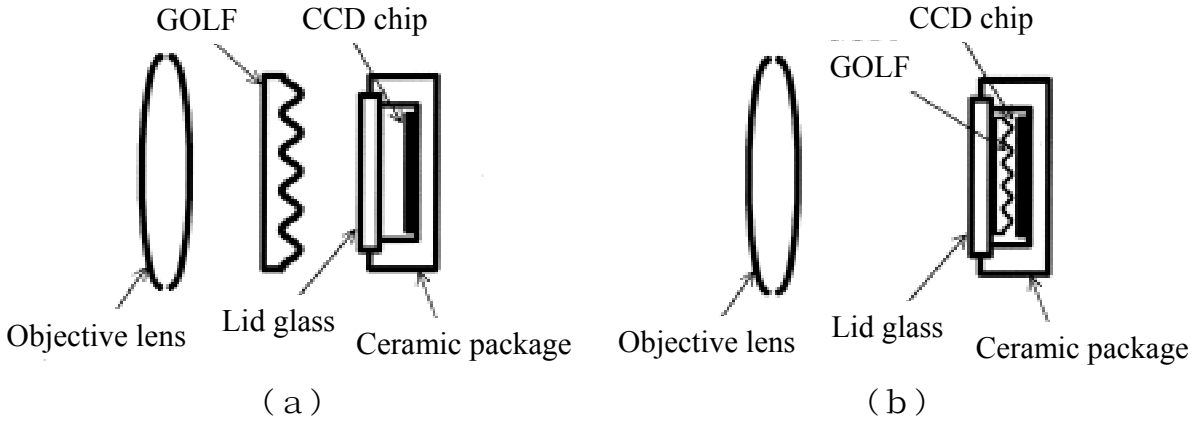
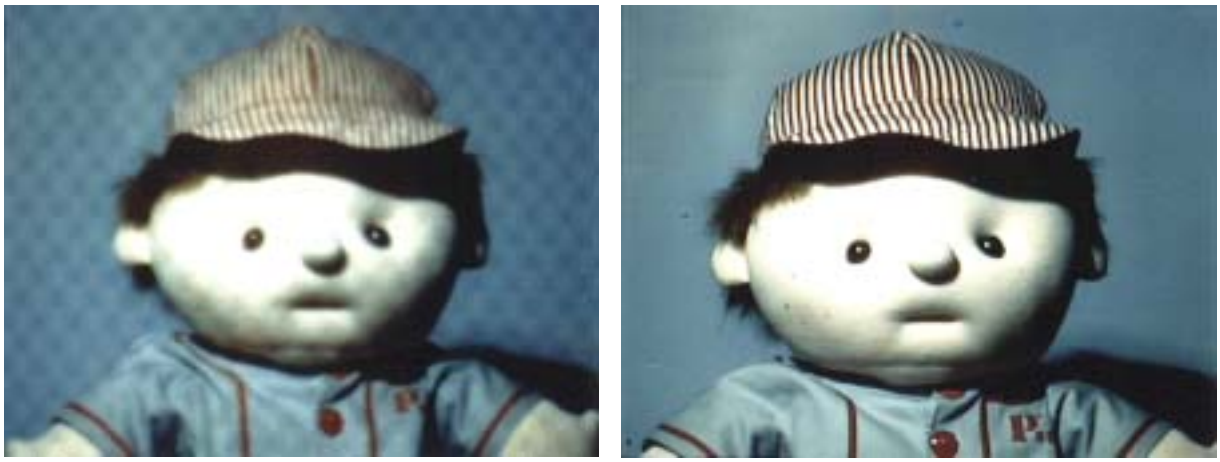


図３．１４　GOLF を（ａ）撮像レンズと CCD パッケージの間、および（ｂ）CCD のパッケージ内に設置した場合の光学系



（ａ）　（ｂ）

図３．１５　実効的な格子周期が CCD の（ａ）画素周期の 4 倍以上、および（ｂ）画素周期と等しい GOLF を用いた CCD カメラによる撮像

GOLF の実効的な格子周期が CCD の画素周期やカラーフィルタのアレイ周期と等しい場合でも、スポットライトのように高輝度な被写体を撮像するとレンズ端部での反射光の画像中に色モアレが観察されるという課題が発生した。試作、評価の結果、このような色モアレは回折格子の周期を CCD の画素周期より小さくすることにより解消できることが判った。

回折格子の周期Λ_gが CCD の画素周期Λ_cやカラーフィルタのアレイ周期Λ_fより小さいとき、回折格子と CCD の画素およびカラーフィルタとの間に発生するモアレの周期Λ_mは、式(3.4)のような関係になる。

$$\frac{1}{\Lambda_m} = \left| \frac{n}{\Lambda} - \frac{1}{\Lambda_g} \right| \quad (n\text{: 正の整数})^{18)} \tag{3.4}$$

ここで、Λは、CCD の画素周期Λ_cあるいはカラーフィルタのアレイ周期Λ_fを表している。式(3.4)から、Λ_mは、$\Lambda_g/\Lambda=2/(2k+1)$のとき最小になり、$\Lambda_g/\Lambda=1/k$ のとき最大になる。ただし、k は正の整数である。従って、回折格子と CCD の画素およびカラーフィルタとの間に発生する最も周期の大きなモアレ（最大モアレ）の周期をそれぞれ$\Lambda_{c\max}$、$\Lambda_{f\max}$とすると、最大モアレは下記のような 3 タイプに分類される。

Type A: $\Lambda_{c\max} = 2\Lambda_c = \Lambda_f$ 、 $\Lambda_{f\max} = \infty$

Type B: $\Lambda_{c\max} = 4\Lambda_c = 2\Lambda_f$ 、 $\Lambda_{f\max} = \Lambda_{c\max}$

Type C: $\Lambda_{c\max} = \infty$ 、 $\Lambda_{f\max} = \infty$

回折格子の周期Λ_gを式(3.5)のように設計すると、Type C の関係が得られ、$\Lambda_{c\max}$、$\Lambda_{f\max}$とも無限大になる。

$$\Lambda_g = \Lambda_c / m \tag{3.5}$$

ただし、m は 2 以上の整数である。

上記のような 3 タイプの GOLF を試作、評価したところ、式(3.5)に基づいて回折格子の周期を設計した GOLF を用いた CCD カメラは、通常の明るさの被写体だけでは

なく、高輝度な被写体を撮像した場合も回折格子像や色モアレが発生しない良好な画像を得ることができた。

３．６．２　光学的ローパス性能とＡＲ特性

図３．１６に、断面形状が正弦波状の GOLF を用いた CCD カメラの AR 特性を示している。AR 特性の実験値は理論曲線と良く一致しており、必要な遮断周波数を維持して低周波域の AR 値を向上できることが確かめられた。

また、CZP チャートを撮像したときの画像を図３．１７に示しており、低周波域における画像のコントラスト低下を抑えて、偽信号の少ない良好な画像の得られることが確かめられた。

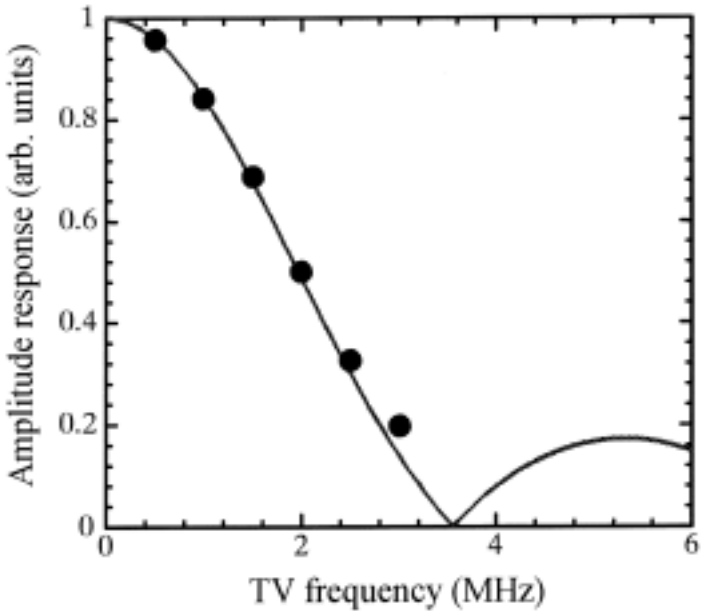


図３．１６　GOLF を用いた CCD カメラの AR 特性の理論曲線と実験値

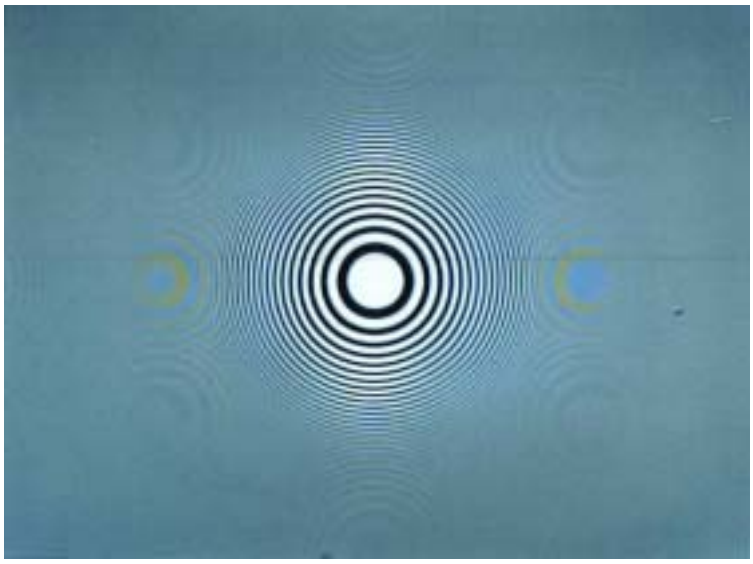


図３．１７　GOLF を用いた CCD カメラで撮像した CZP チャート

３．７　まとめ

水晶板は CCD カメラにおける偽信号の発生を防止するという機能があり、OLF として広く用いられている。しかし、水晶板は厚く、また複数枚を重ね合わせて使用されるため、CCD カメラの小型軽量化を妨げるという課題がある。一方、GOLF は、水晶板に比べて厚みが薄く、低コストで製造可能という特徴があるが、明るい被写体の画像に回折格子像が重なって撮像されるという課題、および低周波域における MTF 値が低いため鮮明な画像が得られないという課題があった。そこで、回折格子像の解消、および低周波域の MTF 値の向上を目的に、GOLF の光学設計を行った。また、光反応性材料を用いた微細加工技術によって、光学設計に基づいた GOLF の試作、評価を行い、諸特性を明らかにした。以下に得られた結論を示す。

（１）回折格子像は、GOLF を CCD の撮像面近傍に設置し、撮像面に投影される実効的な格子周期を CCD の画素あるいはカラーフィルタのアレイ周期と同じにするか、整数分の 1 にすることによって、解消することができる。

（２）光反応性材料を用いた微細加工技術によって、CCD の画素やカラーフィルタのアレイ周期より微細な周期の格子パターンを形成でき、マスク露光時のフォトマスクと感光層の間隔を調整することによって正弦波状の回折格子を作製することができる。

更に、光線透過率や光線反射率にも問題無く、CCD カメラ向け GOLF に適した回折格子を作製可能である。
（３）断面形状が正弦波状の GOLF を用いた CCD カメラは、低周波域の MTF 値を向上できるため、画像コントラストの低下の少ない鮮明な画像を得ることができる。

以上、光反応性材料を用いた微細加工技術によって作製された GOLF は、画像のコントラストを損なうことなく偽信号の発生を防止できることが明らかになった。更に、微細加工技術およびこれを用いた GOLF の特徴である薄型化を活かして CCD のパッケージ内に組み込むことが可能になるため、CCD カメラの小型軽量化に有望であることを示した。

参考文献

1) W. S. Boyle and G. E. Smith: “Charge Coupled Semiconductor Devices”, Bell Syst. Tech. J., 1970, pp.587-593.

2) A. Nordbryhn: “Sampling and Aliasing Problems with Imaging Arrays”, Proc. SPIE, Vol.476, 1983, pp.116-121.

3) 吉田　興夫、田川　進、阿知葉　征彦:「ITE テストチャートを用いたテレビジョンシステムの評価(II)：ゾーンプレートチャートによる評価(テレビジョン画像の評価技術(第 7 回))」、テレビジョン学会誌、Vol.38、1984、pp.249-257.

4) 吉田　興夫、岩本　明人:「固体撮像素子のモアレ画像」、テレビジョン学会誌、Vol.38、1984、pp.745-761.

5) 林 宏三、杉本　昌穂:「2 撮像管式分離輝度カラーカメラ」、テレビジョン、Vol.20、1965、pp.303-313.

6) 森下　政伸、田中　教訓:「緑市松線順次式 CCD 単板カラーカメラの画質改善」、テレビジョン学会誌、Vol.36、1982、pp.531-537.

7) 増田　美智雄、野田　勝、鮎沢　巌:「PAL 方式 MOS 形単板カラーカメラ」、テレビジョン学会誌、Vol.37 (1983) pp.840-846.

8) 大竹　與志知:「交差型単管ビデオカメラ用新光学ローパスフィルタ」、テレビジョン学会誌、Vol.39、1985、pp.711-718.

9) Y. Ogawa, Y. Nakada, and H. Yasui: “Development of CCD Imaging Block for Single Chip Color Camera”, IEEE Trans. Cons. Electron., Vol.CE-31, 1985, pp.405-413.

10) 今出　宅哉、野田　勝、西村　龍志、竹本　一八男:「水平転送 MOS 形カメラのカラー化方式の検討」、テレビジョン学会技術報告、Vo1.19、1986、pp.13-18.

11) J. E. Greivenkamp: “Color Dependent Optical Prefilter for the Suppression of Aliasing Artifacts”, Appl. Opt., Vol.29, 1990, pp.676-684.

12) 藤田　欣裕、三谷　公二、菅原　正幸、岡野　文男、長　秀雄、石田　芳浩、福島　保、永吉　良一:「デュアルグリーン方式を用いたハイビジョン 2/3 インチ小型 CCD カメラ(論文<小特集>固体撮像技術)」、テレビジョン学会誌、Vol.47、1993、pp.203-211.

13) M. Mino and Y. Okano: “Optical Low-Pass Filter for a Single-Vidicon Color Television Camera”, J. Soc. Motion Pict. Telev. Eng., Vol.81, 1972, pp.282-285.

14) R. L. Townsend: “Spatial-Frequency Filter for a Kell-Type Color Camera”, Appl. Opt., Vo.11, 1972, pp.2463-2472.

15) J. O. Drewery: “The Zone Plate as a Television Test Chart”, J. Soc. Motion Pic. Telev. Eng., Vol.88, 1979, pp.763-770.

16) 例えば、J. W. Goodman: *Introduction to Fourier Optics* (McGraw-Hill, New York, 1968).

17) 和久井　孝太郎、日下　秀夫:「テレビジョンシステム評価用テストチャート」、テレビジョン学会誌、Vol.36、1982、pp.209-215.

18) 宮武　義人、竹田　守、連　努、津田　圭介:「ハイビジョン用リア方式液晶投写形ディスプレイ」、電子情報通信学会論文誌、Vol.J73-C-II、1990、pp.695-702.

第４章　回折格子型ソフトフォーカスフィルタ

４．１　はじめに

プロジェクタは 3 インチクラスの小面積な画像をスクリーンに拡大投影しており、簡便に 100 インチクラスの大画面が得られるという特徴がある。従来このようなプロジェクタには CRT が用いられてきたが、プロジェクタの高画質化、小型軽量化という市場ニーズに対応するため、現在では LCD パネルが広く用いられている。しかし、LCD パネルを用いたプロジェクタ（液晶プロジェクタ）には、画像のコントラストを向上することを目的に LCD パネルに設けられたブラックマトリックスも拡大投影されるため、各絵素が不連続になり自然な画像を得られないという課題がある。この課題は眼の解像度に比べてスクリーンに投影された絵素が大き過ぎることが原因であることは知られているが [1)]、自然な画像が得られる微細な絵素を実現するためには、LCD パネルを製造する上での技術的な問題や LCD パネルが高価格になるという課題がある。LCD パネルの絵素の大きさを変えない方法として、LCD パネルに設けられたカラーフィルタの三原色を三角状に配置することが検討されたが [2)]、十分な効果が得られなかった。

光デバイスを用いる方法として、拡散板を用いたソフトフォーカスフィルタが開発されたが、画像コントラストの維持と自然な画像を得るための平滑化の両立が困難であった [3)]。このため、マイクロレンズの焦点ズレを利用して絵素を平滑化する方法や回折格子の利用 [4)]が提案された。しかし、マイクロレンズの利用には、画像コントラストを維持しながら絵素を平滑化するために必要な精度でマイクロレンズを設置することが困難という課題があった。また、回折格子の利用には、回折格子をエッチング法で作製したため矩形波状の断面しか得られず、±2 以上の高次回折光強度が高くなったため十分な画像のコントラストが得られないという課題があった。これらに続き、位相格子を用いて画像の補間を行うという光学的な復元フィルタが研究されたが、光学設計通りの位相格子の作製が困難であったため、実用化には至らなかった。

本章では、液晶プロジェクタの画質向上に用いる新方式の回折格子型ソフトフォーカスフィルタについて述べている。また、光反応性材料を用いた微細加工技術によって断面形状が正弦波状の回折格子を作製し、このソフトフォーカスフィルタは画像コントラストの低減を抑えて、画質が向上できることを示している。

４．２　回折格子型ソフトフォーカスフィルタの機能

液晶プロジェクタに用いられている LCD パネルは、三原色が 2 次元的に配列されたカラーフィルタによってカラー画像を表示している。カラーフィルタの各絵素の隙間にはブラックマトリックスによってマスキングされているため、表示画像が不連続になる。図４．１にカラーフィルタの構造を示しており、R、G、B は三原色の赤、青、緑を表している。図４．２に液晶プロジェクタの光学系を示しており、この図のように回折格子を LCD パネルと投影レンズの間に設置すると、回折作用によって不連続な画像が連続な画像に変換される。

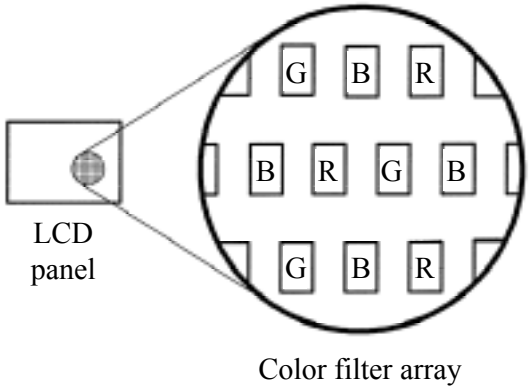


図４．１　LCD パネルに設けられたカラーフィルタの構造

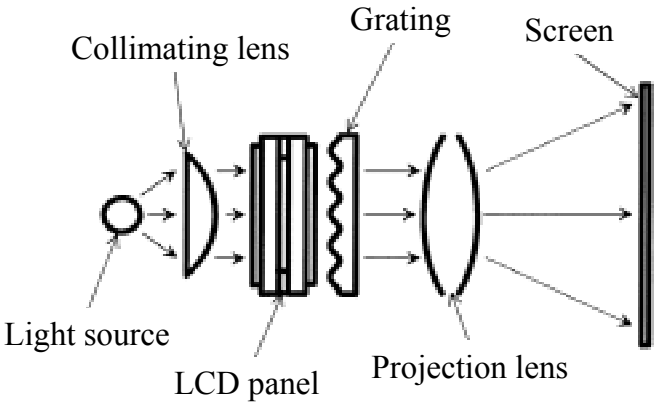


図４．２　回折格子型ソフトフォーカスフィルタが LCD パネルと投射レンズの間に配置された液晶プロジェクタの光学系

図４．３（ａ）には、不連続な画像を発生させているブラックマトリックスによって各絵素に分割され、スクリーンに投影された画像の強度分布を示している。回折格子型ソフトフォーカスフィルタを各絵素の表面に設置すると、画像は 0 次、+1 次、および-1 次の画像に分割して投影される。0 次、+1 次、および-1 次の投影画像の強度分布をそれぞれ図４．３（ｂ)、(ｃ)、および（ｄ）に示している。ただし、ここでは、±2 以上の高次回折光は強度が小さく、画像に影響を与えないと仮定している。スクリーンに投影される画像は 0 次、+1 次、および-1 次の投影画像の重ね合わせになり、図４．３（ｅ）のように平滑化される。また、このような投影画像の重ね合わせは、隣り合う絵素程度の狭い範囲に限られるため､画像コントラストの大幅な低下はない。

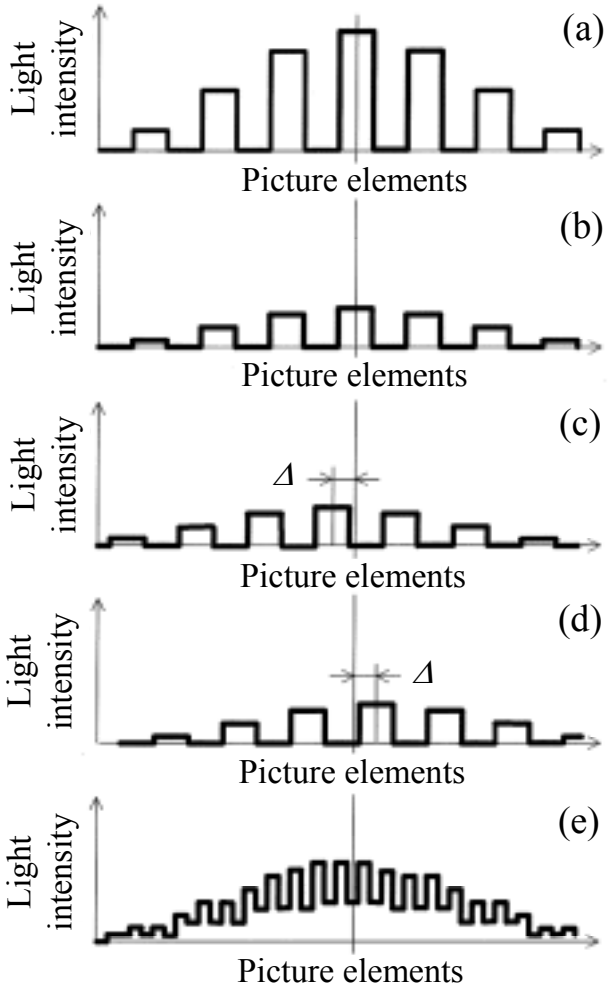


図４．３　回折格子型ソフトフォーカスフィルタの機能説明図

４．３　回折格子型ソフトフォーカスフィルタの設計

４．２章では±2 次以上の高次投影画像による影響が無いものと仮定して回折格子型ソフトフォーカスフィルタの機能を議論したが、実際に液晶プロジェクタに設置した場合は高次の投影画像によって画像のコントラストが低下する。このため、画像コントラストの低下を抑制するためには、不要な高次の投影画像を低減する必要がある。±2 次以上の回折強度は、回折格子の断面形状で制御することができる。表４．１に、回折格子の材質の屈折率が 1.5 で光の波長を 550nm と仮定したときの回折効率の計算値を示している。この計算では、（ａ）段差が 0.5024μm で、水平方向と垂直方向の断面形状が正弦波状、および（ｂ）段差が 0.4051μm、凸部と凹部の比率が 1:2 で、水平方向と垂直方向の断面形状が矩形波状の回折格子とした。

(0, 0)次から(±1, ±1)次までの回折効率の合計を η とすると、断面形状が正弦波状の回折格子の η は 81.1%となり、矩形波状の 58.4%より高く、±4 次以上の高次回折効率は非常に小さくなった。また、ここでは詳細な計算結果を述べないが、断面形状が三角形状および台形波状の回折格子の η は、正弦波状と矩形波状の間の値になった。従って、画像コントラストを向上するためには、断面形状が正弦波状の回折格子を作製可能な加工技術の必要なことが明らかになった。

回折格子型ソフトフォーカスフィルタは、図４．４のように投影画像を回折し、その回折角 θ は式(4.1)で与えられる。

$$\theta = \mathrm{Sin}^{-1}\left(\lambda / g \right) \tag{4.1}$$

ここで、λ と g は、光の波長およびソフトフォーカスフィルタの格子周期である。従って、LCD と回折格子型ソフトフォーカスフィルタの間隔を d とすると、0 次と 1 次の投射画像の間隔 Δ は式(4.2)のようになる。

$$\Delta = d\lambda / g \tag{4.2}$$

回折格子型ソフトフォーカスフィルタを用いた液晶プロジェクタの画質は Δ の値に影響され、Δ が絵素の周期より小さい場合、Δ が大きくなるほど絵素は平滑化されるが、画像のコントラストが低下する。従って、良好な画質を得るためには、Δ を最適な値

にすることが必要である。尚、図４．３では、⊿が絵素の 0.66 倍のときの画像を説明している。

表４．１　断面形状が（ａ）正弦波状および（ｂ）矩形波状の 2 次元回折格子の回折効率（計算値）

（ａ）

Diffraction order	−5	−4	−3	−2	−1	0	+1	+2	+3	+4	+5
−5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
−4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
−3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
−2	0.0	0.0	0.0	0.2	1.4	1.4	1.4	0.2	0.0	0.0	0.0
−1	0.0	0.0	0.1	1.4	9.0	9.0	9.0	1.4	0.1	0.0	0.0
0	0.0	0.0	0.1	1.4	9.0	9.0	9.0	1.4	0.1	0.0	0.0
+1	0.0	0.0	0.1	1.4	9.0	9.0	9.0	1.4	0.1	0.0	0.0
+2	0.0	0.0	0.0	0.2	1.4	1.4	1.4	0.2	0.0	0.0	0.0
+3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
+4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
+5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

（ｂ）

Diffraction order	−5	−4	−3	−2	−1	0	+1	+2	+3	+4	+5
−5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
−4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0
−3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
−2	0.1	0.1	0.0	0.4	1.6	1.6	1.6	0.4	0.0	0.1	0.1
−1	0.3	0.4	0.0	1.6	6.5	6.5	6.5	1.6	0.0	0.4	0.3
0	0.3	0.4	0.0	1.6	6.5	6.5	6.5	1.6	0.0	0.4	0.3
+1	0.3	0.4	0.0	1.6	6.5	6.5	6.5	1.6	0.0	0.4	0.3
+2	0.1	0.1	0.0	0.4	1.6	1.6	1.6	0.4	0.0	0.1	0.1
+3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
+4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.4	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0
+5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0

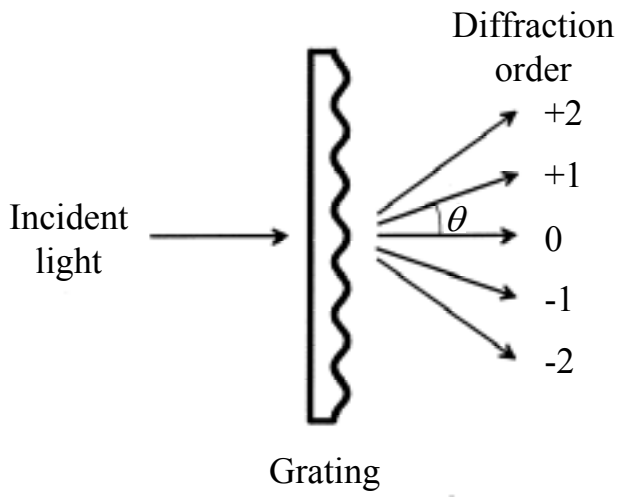


図４．４　回折格子型ソフトフォーカスフィルタによる光回折

４．４　回折格子型ソフトフォーカスフィルタの作製プロセス

回折格子型ソフトフォーカスフィルタは、光反応性材料を用いた微細加工技術によって作製した。カラーフィルタは絵素が 2 次元的に配列されており、回折格子のパターンも 2 次元にする必要があるため、パターン周期が 20μm および 18μm のフォトマスクを 2 枚用意し、交換しながらマスク露光を行った。

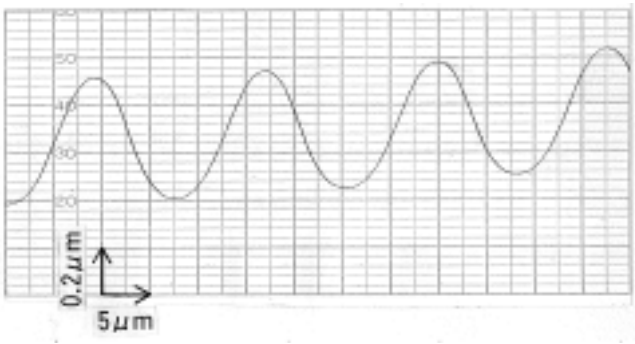
正弦波状の断面を得るためマスク露光時のフォトマスクと感光層の間隔を調整し、回折格子の段差は紫外線の露光量を変えることによって最適化した。

４．５　回折格子の断面形状と回折効率

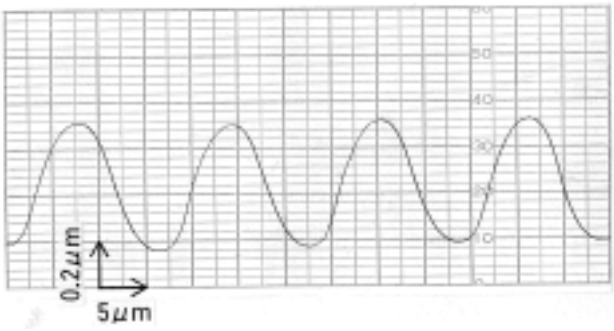
回折格子の断面形状は触針式表面粗さ計で測定し、表面構造は明石製電子顕微鏡 ISI-DS 130 で測定した。また、回折効率は、光源に波長 543.5nm の He-Ne レーザーを用い、各次数の回折光強度を光強度計により測定した。

４．５．１　断面形状

触新式表面粗さ計によって測定した 2 次元回折格子の断面形状を図４．５に示している。また、図４．６には電子顕微鏡の写真を示しており、断面形状が正弦波状の 2 次元格子であることが確かめられた。



（a）



（b）

図４．５　回折格子型ソフトフォーカスフィルタの（a）水平方向および（b）垂直方向の断面形状

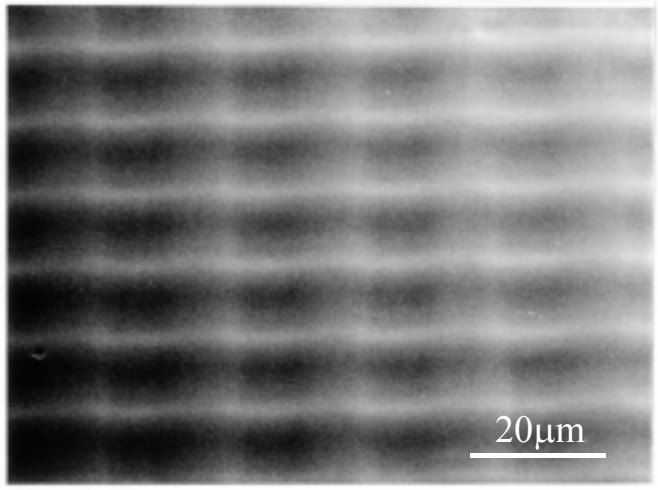


図４．６　回折格子表面の電子顕微鏡写真

４．５．２　回折効率

回折格子による回折光の強度分布パターンを評価した結果、図４．７のように(0, 0)次から(±1, ±1)次までの回折光の強度が高く、±2 以上の高次回折光の強度は低いことが明らかになった。

表４．２には、回折効率の測定結果を示している。この回折格子の屈折率は 1.52 であり、断面形状は水平方向に段差 0.49μm の正弦波状パターン、また垂直方向に段差 0.51μm の正弦波状パターンが重ね合わされた構造になっている。水平方向と垂直方向の段差の違いは、回折格子の作製に用いたフォトマスクのパターン周期が 20μm および 18μm と異なっており、マスク露光における紫外線の回折強度分布が変化したことが原因である。(0, 0)次から(±1, ±1)次までの 9 個の回折光の回折効率は、水平方向と垂直方向の段差の違いにより若干異なっているが､大凡一致することができた。また、9 個の回折光の合計 η は 81%であるため、ほぼ要望通りの断面形状が形成されていることが確かめられた。

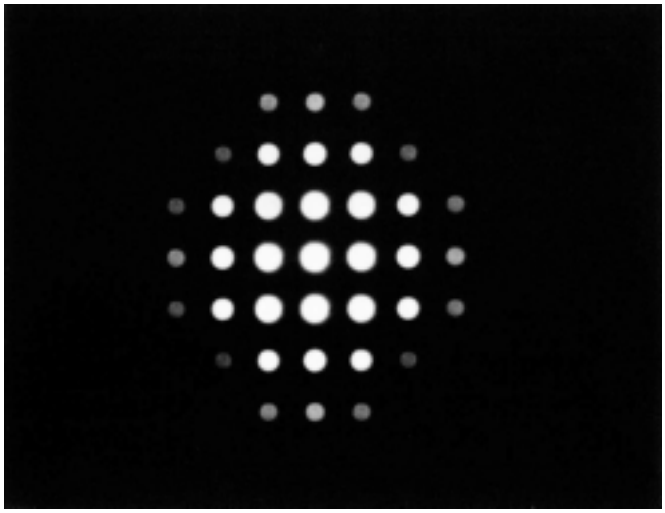


図４．７　回折格子による回折光の強度分布パターン

表４．２　回折格子の回折効率

Diffraction order	−5	−4	−3	−2	−1	0	+1	+2	+3	+4	+5
−5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
−4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
−3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
−2	0.0	0.0	0.0	0.2	1.5	1.3	1.4	0.2	0.0	0.0	0.0
−1	0.0	0.0	0.2	1.4	9.1	8.9	9.6	1.4	0.2	0.0	0.0
0	0.0	0.0	0.2	1.4	8.0	7.4	8.2	1.3	0.2	0.0	0.0
+1	0.0	0.0	0.2	1.5	9.4	9.6	10.0	1.4	0.2	0.0	0.0
+2	0.0	0.0	0.0	0.2	1.1	1.3	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0
+3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
+4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
+5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

４．６　回折格子型ソフトフォーカスフィルタの光学性能

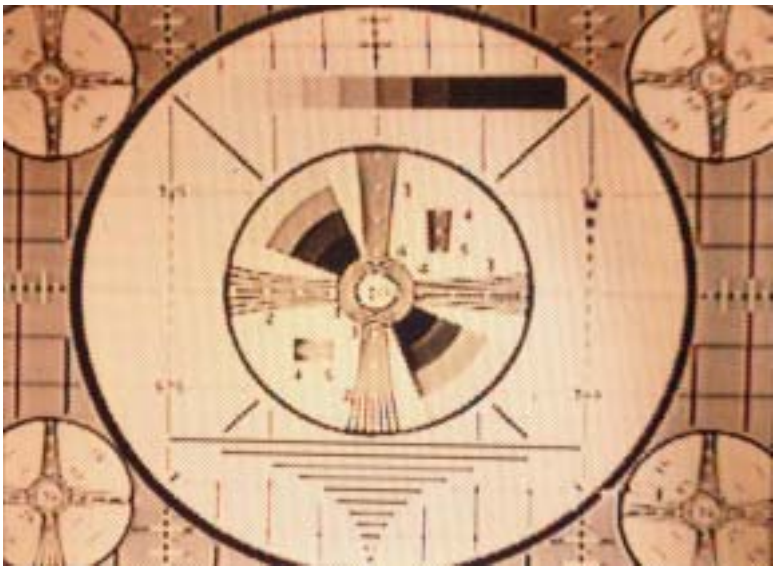
水平方向および垂直方向の格子周期がそれぞれ 20μm と 18μm の回折格子型ソフトフォーカスフィルタを LCD パネルの表面に設置した。LCD パネルには、厚さ 1.1mm のガラス基板の表面に厚さ 0.21mm の偏光フィルムが接着されており、ガラス基板と偏光フィルムの屈折率はそれぞれ 1.50 と 1.52 である。従って、可視光の中心波長 550nm における水平方向および垂直方向の 0 次と±1 次の投影画像の間隔 Δ は、式(4.2)からそれぞれ 23.9μm と 26.5μm になり、水平方向は絵素の 0.80 倍、また垂直方向は絵素の 0.54 倍になった。

回折格子型ソフトフォーカスフィルタを用いた液晶プロジェクタは、図４．８のように不連続な画像からブラックマトリックス像の無い連続な画像に変換されることが確認された。また、0 次、+1 次、および-1 次の投影画像の重なりが隣り合う絵素よりも小さいため、図４．９のように画像のコントラストの低下は殆ど観察されなかった。

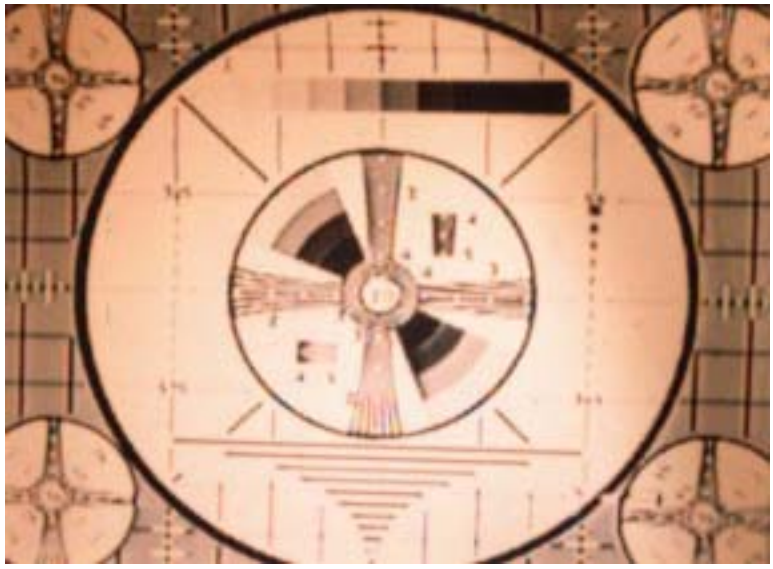
（ａ）

（ｂ）

図４．８　回折格子型ソフトフォーカスフィルタを（ａ）用いていない場合、および（ｂ）用いた場合の液晶プロジェクタの画像



（ａ）



（ｂ）

図４．９　回折格子型ソフトフォーカスフィルタを（ａ）用いていない場合、および（ｂ）用いた場合の液晶プロジェクタにより投影した解像度チャート

４．７　まとめ

LCD パネルに設けられたブラックマトリックスは液晶プロジェクタの画像コントラストを向上するが、不連続な投影画像の原因になっており、画像コントラストの向上と連続で自然な画像の両立が課題であった。そこで、液晶プロジェクタの高画質化を目的に、回折格子型ソフトフォーカスフィルタの光学設計を行った。また、光反応性材料を用いた微細加工技術によって、光学設計に基づいた回折格子型ソフトフォーカスフィルタの試作、評価を行い、諸特性を明らかにした。以下に、得られた結論を示す。

（１）光反応性材料を用いた微細加工技術によって、液晶プロジェクタの高画質化に適した正弦波状の 2 次元回折格子を作製できる。

（２）断面形状が正弦波状の回折格子は、(0, 0)次から(±1, ±1)次までの回折光の強度が高く、±2 以上の高次回折光の強度は低くなった。このため、LCD パネルと投射レンズの間に設置すると、投影画像のコントラストを維持して不連続な画像を連続な画像に変換することができる。

以上、光反応性材料を用いた微細加工技術によって作製した回折格子型ソフトフォーカスフィルタを LCD パネルの表面に設置することによって、液晶プロジェクタの高画質化が図れることを示した。

参考文献

1) 坂田　晴夫:「絵素配列と画質（点状絵素）」、電子情報通信学会技術研究報告、Vol.IE83-32、1984、pp.7-12.

2) 鶴田　七郎、三橋　薫、野口　今朝男、上野　利彦:「液晶カラーTV のシミュレーションによる画質評価」、テレビジョン学会技術報告、Vol.9、1985、pp.35-40.

3) K. Sayanagi: “Optical Noise Filter”, Jpn. Soc. Appl. Phys., Vol.27, 1958, pp.623-632.

4) K. Knop and M. T. Gale: “Diffractive Diffusers for Display Applications”, SID Int. Symp. Dig. Tech. Pap., 1986, pp.354-356.

第５章　光学パターン形成フィルムを用いた導光型バックライト

５．１　はじめに

LCD は、従来よりディスプレイとして広く使用されてきた CRT に比べ、薄型軽量化に優れるという特徴がある。この大きな特徴から、第４章で述べた液晶プロジェクタ以外に、パーソナルコンピュータでは一般的に使用されており、近年では携帯電話、携帯情報端末機器、液晶テレビなど応用商品が拡大している。図５．１にはディスプレイの分類を示しているが、CRT、PDP、EL は発光型であるが、LCD は非発光型であるためバックライトを必要とする。

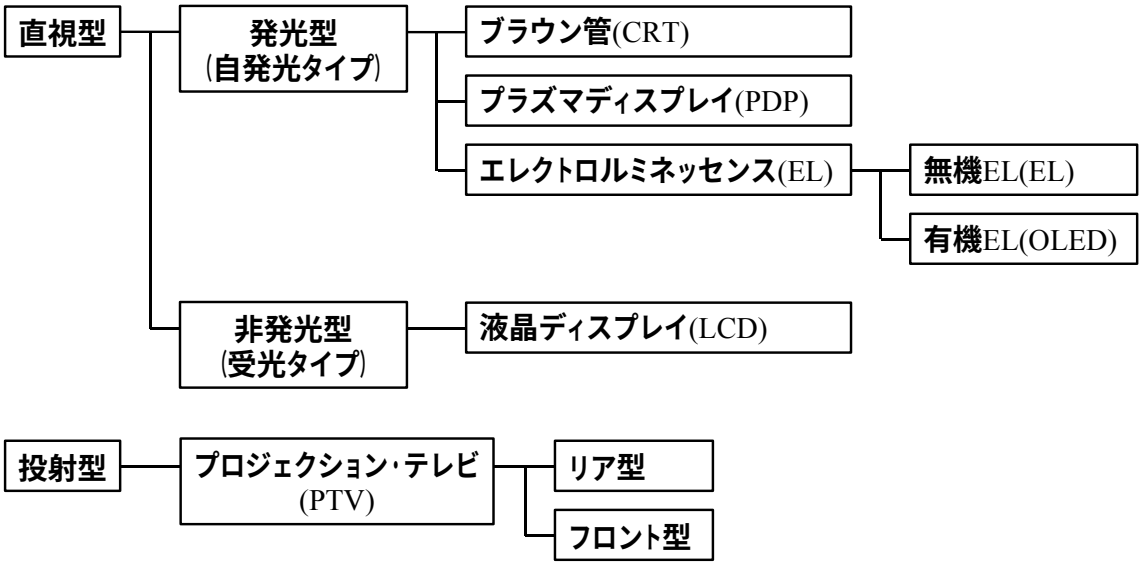


図５．１　ディスプレイの分類

画面の大きさが 20 インチ以上の大型 LCD には冷陰極管や LED などの光源が LCD の背面に設置された直下型バックライトが使用され、20 インチ以下の小型および中型の LCD には光源が導光板の側面に設置された導光型バックライトが使用されている。一般的に用いられている導光型バックライトは、冷陰極管や LED などの光源、導光

板、2 枚のプリズムシート、拡散板で構成されている。このようなバックライトでは、光源から導光板に入射した光は全反射により導光体の内部を伝搬する。導光板には LCD と反対側の表面にドットパターンが形成されており、このドットパターンの光散乱により伝搬光が導光板から取出される。LCD 側に取出された光は拡散シートによって拡散光に変換され、プリズムパターンが直交するように設置された 2 枚のプリズムシートにより集光される。プリズムシートで水平方向、垂直方向とも集光することにより、観察者方向（正面方向）の輝度を向上している。LCD の反対側に出射した光は、反射シートによって再利用される。図５．２に、従来の導光型バックライトの構造を示している。このようなバックライトには、LCD に要求される高画質化、薄型軽量化、および低消費電力化に伴い、高輝度化、薄型軽量化、および光利用効率の向上が要望されている。

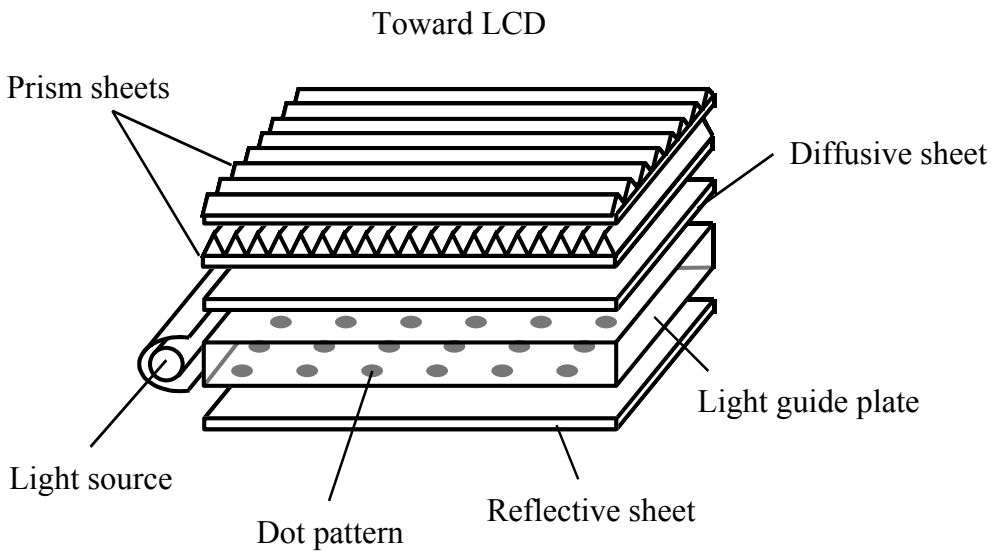


図５．２　従来の導光型バックライトの構造

上記のような要求に対応するため、導光型バックライトではドットパターンに代わる光取出し構造が着目され、導光板への拡散材の添加 [1-3]、LCD とは反対側の表面へのマイクロレンズの形成 [4、5]、およびマイクロプリズムの形成 [6-8]が提案されている。このような導光型バックライトは、導光板の表面にドットパターンが形成されていな

いため、拡散シートを用いる必要が無い。また、光の伝搬に直交する方向はプリズムシートを必要とするが、伝搬と平行な方向は出射視野角が狭く集光する必要が無いため、プリズムシートも 1 枚削減できる。従って、バックライトの薄型軽量化を図ることができる。また、従来のバックライトに比べて出射光の視野角が狭いため、正面方向の輝度を向上することができる。しかし、出射光の視野角依存性を制御できないため、広い出射視野角が要求されない小型 LCD などに応用商品が限られていた。

本章では、光学パターン形成フィルムを用いた新方式の導光型バックライト（OPF バックライト）を提案している。また、OPF バックライトに用いる光学パターンの設計、および光硬化性樹脂を用いた光学フィルム表面への微細パターン形成技術を用いた原理サンプルの試作、評価によって、出射光の視野角依存性、面内の輝度分布、および光取出し効率を明らかにしている。その結果、OPF バックライトは出射視野角の制御が可能であり、マイクロレンズ状光学パターンの断面形状の調整によっては正面方向の輝度を向上することができること、LCD 用途に適した面内輝度分布の得られること、および一般的なバックライトに比べて光取出し効率が高いため LCD の高輝度化や低消費電力化に有効であることを述べている。

５．２　光学パターン形成フィルムを用いた導光型バックライトの構造

OPF バックライトは、図５．３のように光学パターン形成フィルムが接着された導光板、拡散シート、反射シート、および光源で構成されている。

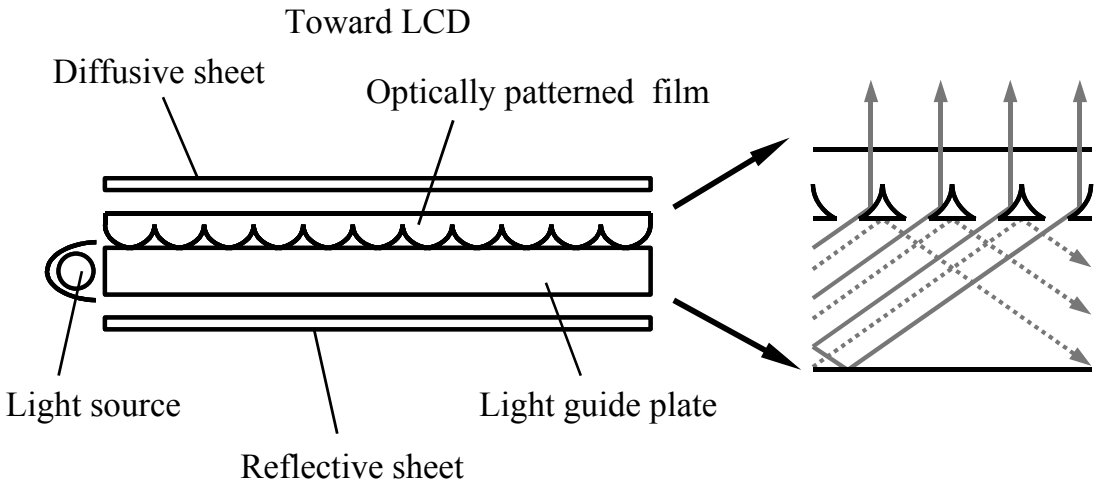


図５．３　OPF バックライトの構造

光学パターン形成フィルムの表面には微細なレンズ状の光学パターンが形成されており、微細なレンズの頂部は導光板に接着されている。光源から導光体に入射した光は全反射によって導光板の内部を伝搬するが、微細なレンズが接着された領域（接着領域）は導光体と光学パターンの屈折率がほぼ等しく全反射条件から外れるため、導光板から取出される。導光板から取出された光は光学パターンの斜面で全反射され、LCD 側に出射する。このような OPF バックライトの光学パターンによる出射原理を図５．４に示している。尚、図５．４に記載されている角度θは、全反射角を表している。

従来のバックライトでは、拡散シートは、導光板から取出された光の拡散光への変換、導光板の表面に形成されたドットパターンによる明暗ムラの解消、および LCD の画質向上に用いられている。これに対し、OPF バックライトでは、拡散シートは、LCD の画質向上のみに用いられる。また、接着領域での反射光、および光学パターン形成フィルムと拡散シートでの反射光を再利用するため、反射シートが導光板の裏側に設置されている。

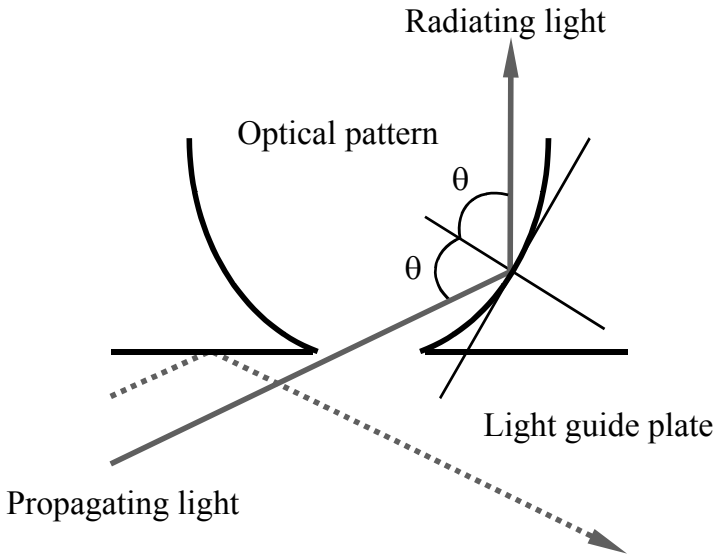


図５．４　OPF バックライトの光学パターンによる光出射

５．３　導光型バックライト向け光学パターンの設計

光線追跡法によって OPF バックライトにおける出射光の視野角依存性と面内の輝度分布の光学シミュレーションを行い、実用性を確かめた。光学シミュレーションで得られた結果は、実際に試作した光学パターンの設計にも用いた。この光学シミュレーションでは、導光板は大きさ 159×92mm^2、厚さ 2mm と仮定した。導光板には PMMA 樹脂、光学パターンには光硬化性樹脂を用いると仮定し、それぞれの屈折率は 1.50、1.52 とした。また、光源として冷陰極管を想定し、線状光源を導光板の長辺に 1 灯設置すると仮定した。

５．３．１　視野角依存性

OPF バックライトでは、導光板から取出された光は光学パターンの斜面での全反射によって出射するため、光学パターンの形状を変えることによって出射光の視野角依存性を制御することができる。そこで、光学パターンの形状が、図５．５のような（ａ）傾斜の緩やかなシリンドリカルレンズ、（ｂ）傾斜の急なシリンドリカル、（ｃ）傾斜の緩やかなマイクロレンズ、および（ｄ）傾斜の急なマイクロレンズと仮定したときの視野角依存性を計算した。ただし、図５．５に示している x 方向および y 方向はそれぞれ導光板の長辺に平行な方向および垂直な方向であり、導光板内部の光は y 方向に伝搬すると仮定した。

出射光の視野角依存性の計算結果を図５．６に示している。OPF バックライトの出射視野角は、光学パターンの形状がシリンドリカルレンズの場合は y 方向のみ狭くなり、マイクロレンズの場合は x、y 両方向とも狭くなった。また、傾斜の急な光学パターンの出射視野角は、傾斜の緩やかな光学パターンより狭くなることが明らかになった。尚、図５．５の（ｂ）と（ｄ）の光学パターンは出射視野角が最も狭い場合であり、更に傾斜を急にした光学パターンでは出射視野角が広くなった。

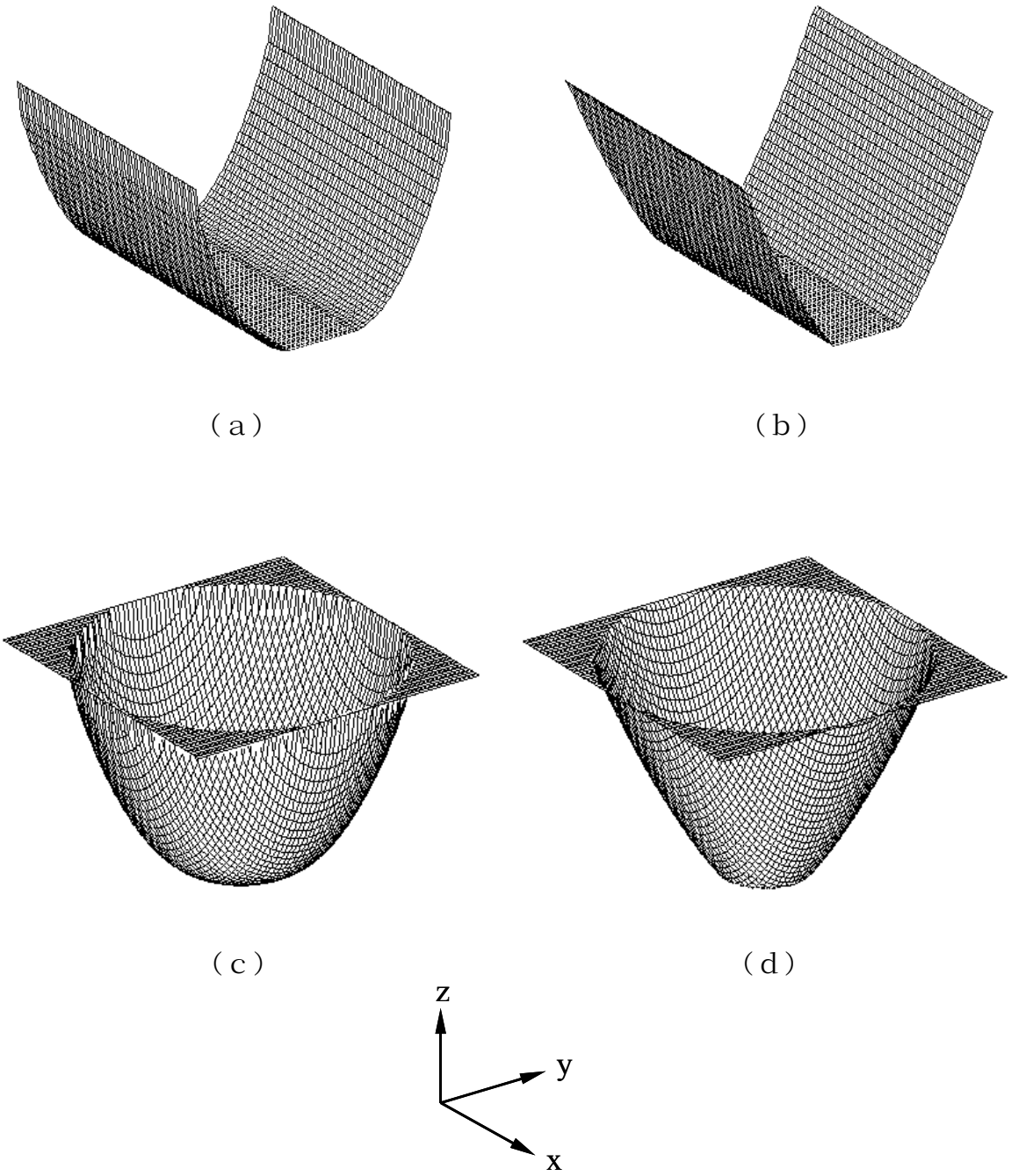


図５．５　光学パターンの形状が（a）傾斜の緩やかなシリンドリカルレンズ、（b）傾斜の急なシリンドリカルレンズ、（c）傾斜の緩やかなマイクロレンズ、（d）傾斜の急なマイクロレンズの視野角依存性の計算モデル

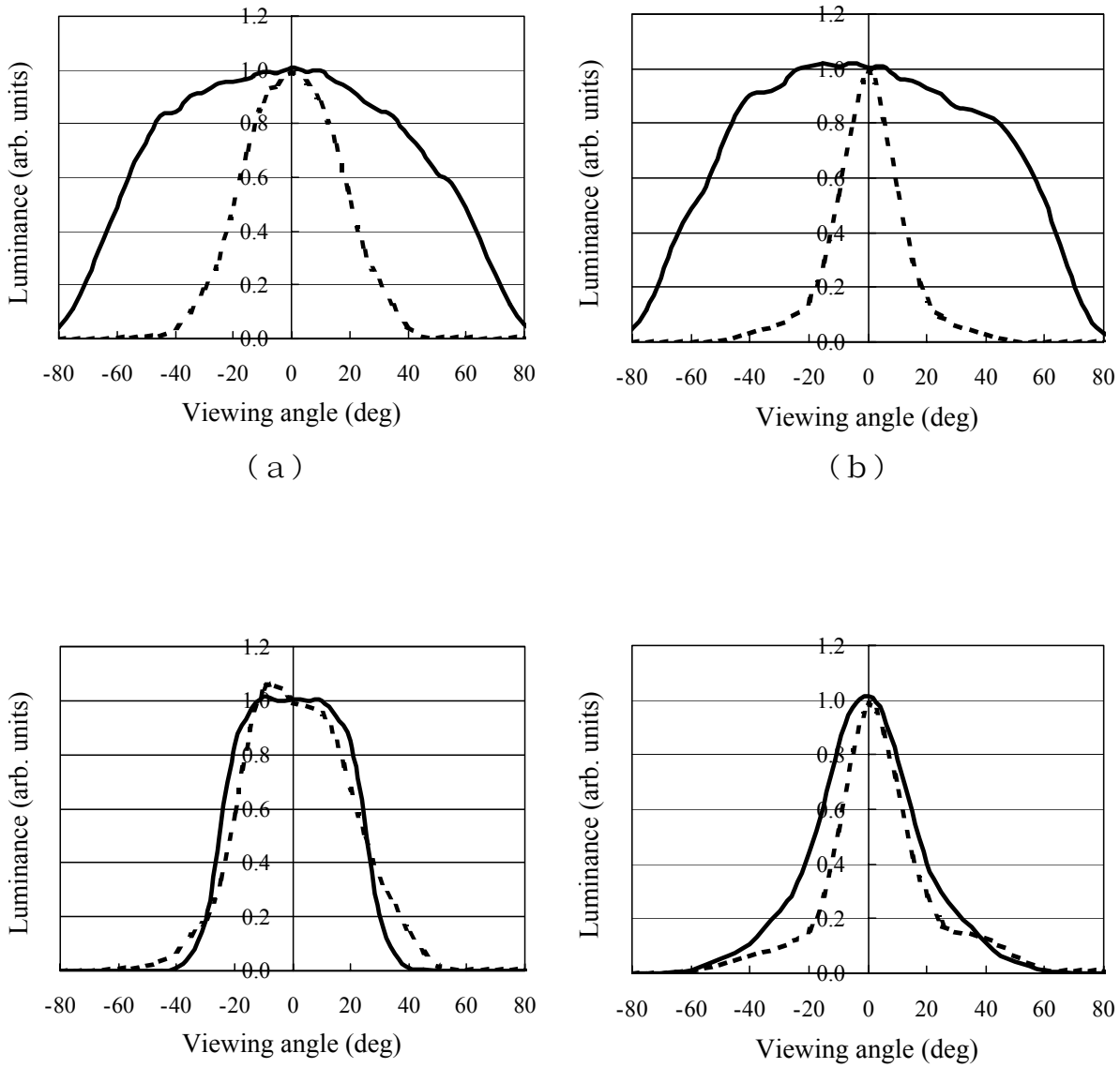


図５．６　（ａ）傾斜の緩やかなシリンドリカルレンズ、（ｂ）傾斜の急なシリンドリカルレンズ、（ｃ）傾斜の緩やかなマイクロレンズ、（ｄ）傾斜の急なマイクロレンズの光学パターンを用いた OPF バックライトの視野角依存性（実線：x 方向、点線：y 方向）

５．３．２　面内輝度分布

導光型バックライトでは、光源に近い伝搬光は取出され易く、光源から離れるに従って取出され難くなる。このため、伝搬方向の輝度分布を均一にするためには、光取出しに用いられる光学パターンの間隔を調整する必要がある。図５．７のように光源から光学パターンの距離を L とし、OPF バックライトの光学パターンの間隔 D が（ａ）均一な場合、および（ｂ）調整された場合の輝度分布を光学計算した。

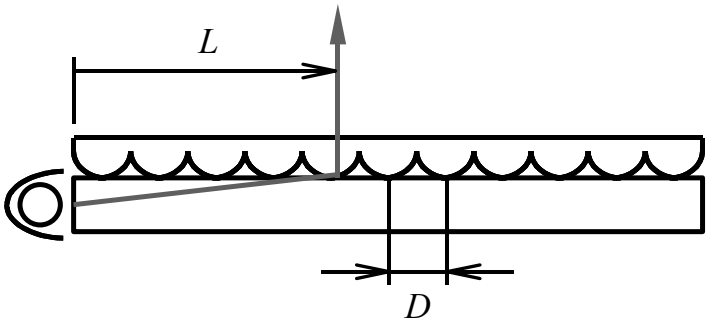
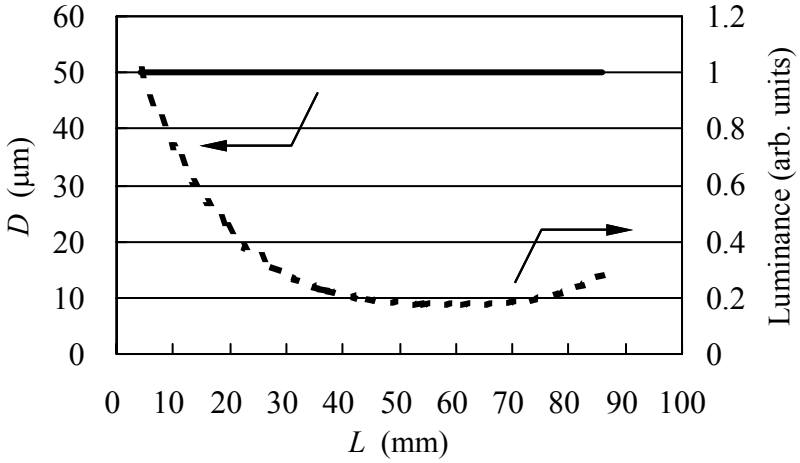
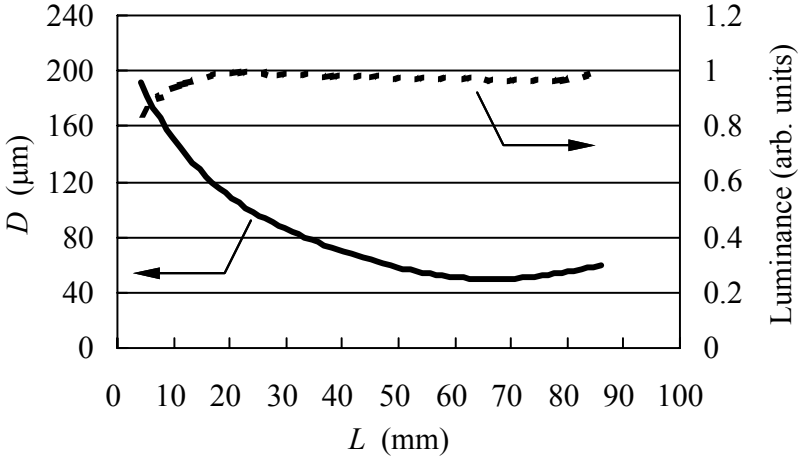


図５．７　輝度分布の光学計算モデル

光学計算の結果を図５．８に示している。光学パターンの間隔 D が 50μm で均一な場合は、図５．８（ａ）のように、光源近傍の輝度を 1 とすると最小輝度が 0.2 以下になった。尚、光源と反対側の輝度が高くなっているが、光学パターンによって取出されなかった光が光源と反対側の端面で反射し、この反射光が取出されることが原因である。一方、光学パターンの間隔 D を輝度分布が均一になるように 50μm から 191μm の間で調整した場合は、図５．８（ｂ）のように 0.8 以上に向上するという計算結果が得られた。



（ａ）



（ｂ）

図５．８　光学パターンの間隔 *D* が（ａ）均一な場合、および（ｂ）調整された場合のＯＰＦバックライトの輝度分布（計算値）

５．４　導光型バックライトの作製プロセス

導光型バックライトに用いた光学パターン形成フィルムは、光硬化性樹脂を用いた微細パターン形成技術によって作製した。ガラス原盤は、光学シミュレーションの結果に基いてフォトマスクを作製し、マスク露光法によって作製した。このマスク露光時にフォトマスクと感光層の間隔および紫外線の照射量を調整することによって、光学パターンの断面形状を制御した。また、光学フィルムには、厚さ 0.125mm の PMMA 系フィルムを用いた。

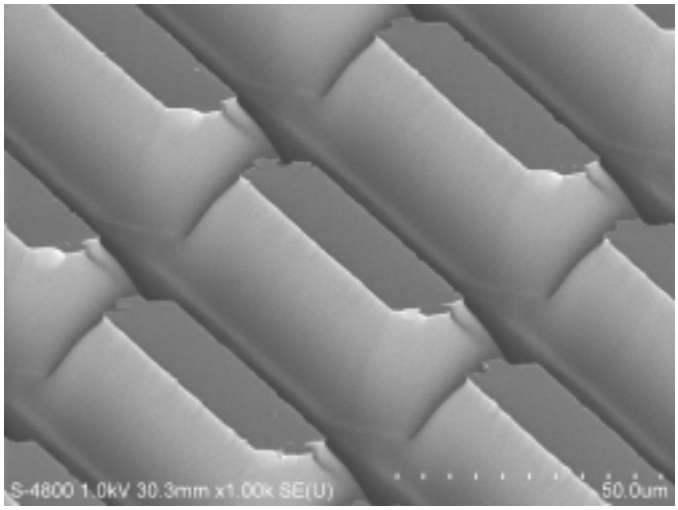
7インチサイズの導光板として大きさ 159×92mm^2、厚さ 2mm の PMMA 板を用い、バーコート法によって日本化薬製の紫外線硬化型接着剤 GGM-012 を導光板の表面に厚さ 10μm でコートした。この接着剤は硬化後の屈折率が 1.52 であり、光硬化性樹脂の屈折率と等しく、PMMA 板の屈折率 1.50 との差が小さいため、光硬化性樹脂で形成された光学パターンおよび PMMA 板との界面での反射を抑えることができる。次いで、光学パターンが埋まり過ぎないように圧力を調整しながら光学パターン形成フィルムを導光板に貼り合わせ、紫外線照射によって接着剤を硬化した。

拡散シートには恵和製 OPALUS BMU-3S を用い、反射シートには東レ製 Lumirror E60L を用いた。また、冷陰極管を導光板の長辺と平行に 1 灯設置した。

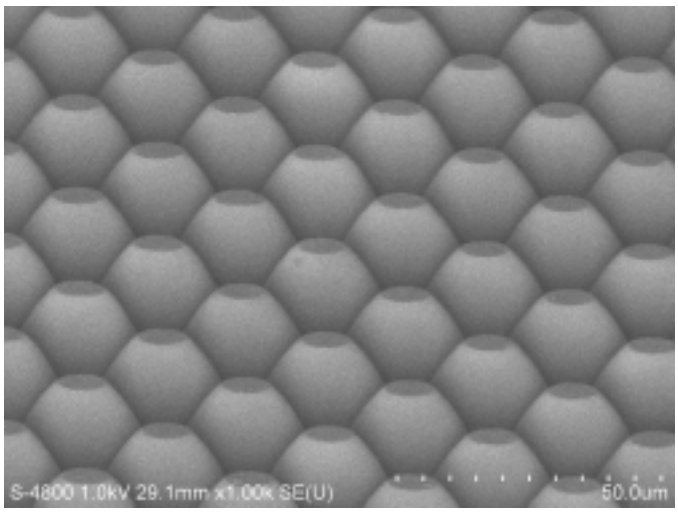
５．５　光学パターンの形状

実際に作製した（ａ）シリンドリカルレンズタイプ、および（ｂ）マイクロレンズタイプの光学パターンを電子顕微鏡によって評価した結果を図５．９に示している。

図５．９（ａ）のシリンドリカルタイプでは、光学パターンの幅は 50μm であり、間隔は 50 から 191μm まで変化している。また、光の伝搬に直交する方向の輝度分布を均一にするため、幅 3μm を間引いている。図５．９（ｂ）のマイクロレンズタイプでは、光学ターンの直径は 50μm であり、光の伝搬に平行な方向の間隔は 50 から 191μm まで、また直交する方向の間隔は 60 から 61μm まで変化している。光学パターンの段差は、両タイプとも 20μm である。また、接着領域を設けるため、シリンドリカルレンズタイプでは幅 20μm、またマイクロレンズタイプでは直径 20μm の平坦部が光学パターンの頂部に形成されている。



（a）



（b）

図５．９　（a）シリンドリカルタイプと（b）マイクロレンズタイプの光学パターンの電子顕微鏡写真

５．６　導光型バックライトの光学性能

実際に作製した OPF バックライトの視野角依存性は、トプコン製輝度計 BM-7 とゴニオメーターを用い、ゴニオメーターで導光型バックライトを回転しながら輝度を測定することによって評価した。面内輝度分布は、XY ステージで導光板を移動しな

がら輝度を測定することによって評価した。

光取出し効率は、OPF バックライトと従来の導光型バックライトの全出射光量を比較することによって評価した。全出射光量は、図５．１０に示しているように、θ方向は 5°間隔で-80 から 80°まで、またφ方向は 45°間隔で 0 から 360°までの輝度を 25 箇所測定し、それらを合計にすることによって求めた。

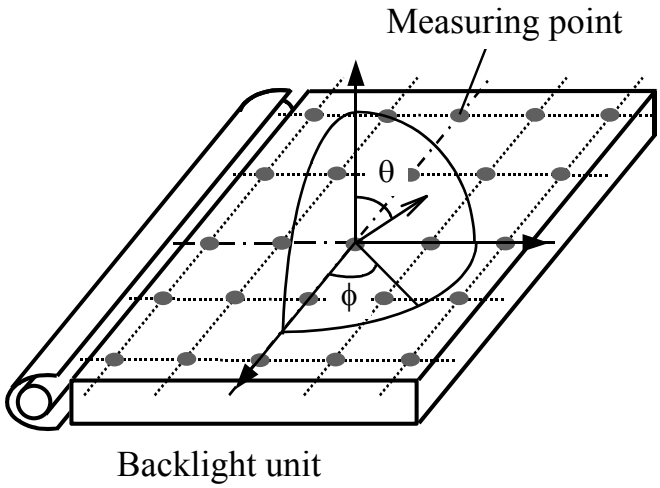


図５．１０　全出射光量の測定方法

５．６．１　視野角依存性

（ａ）傾斜の緩やかなシリンドリカルレンズ、（ｂ）傾斜の急なシリンドリカルレンズ、（ｃ）傾斜の緩やかなマイクロレンズ、および（ｄ）傾斜の急なマイクロレンズの光学パターンを用いた OPF バックライトの視野角依存性を図５．１１に示している。図５．１１のように、光硬化性樹脂を用いた微細加工技術によって作製した光学パターン形成フィルムを導光板に貼り合わせた導光型バックライトは、光学シミュレーションの結果と同様の光学特性であることが確かめられた。

バックライトに要求される出射視野角は LCD の用途で異なっており、ノートパソコン、携帯電話、携帯情報端末機器などの小型用途では、正面方向の輝度を犠牲にすることなく低消費電力化を図るため、水平方向、垂直方向とも出射視野角をできるだけ狭くする必要がある。一方、デスクトップパソコンや液晶テレビなどの大型用途で

は、垂直方向の出射視野角は狭くても良いが、水平方向は様々な角度で観察しても良好な画像を得ることができるような出射視野角にする必要がある。OPF バックライトは、光学パターンの形状を調整することによって出射光の視野角依存性を制御でき、各種用途の LCD に適用できる可能性のあることが確かめられた。

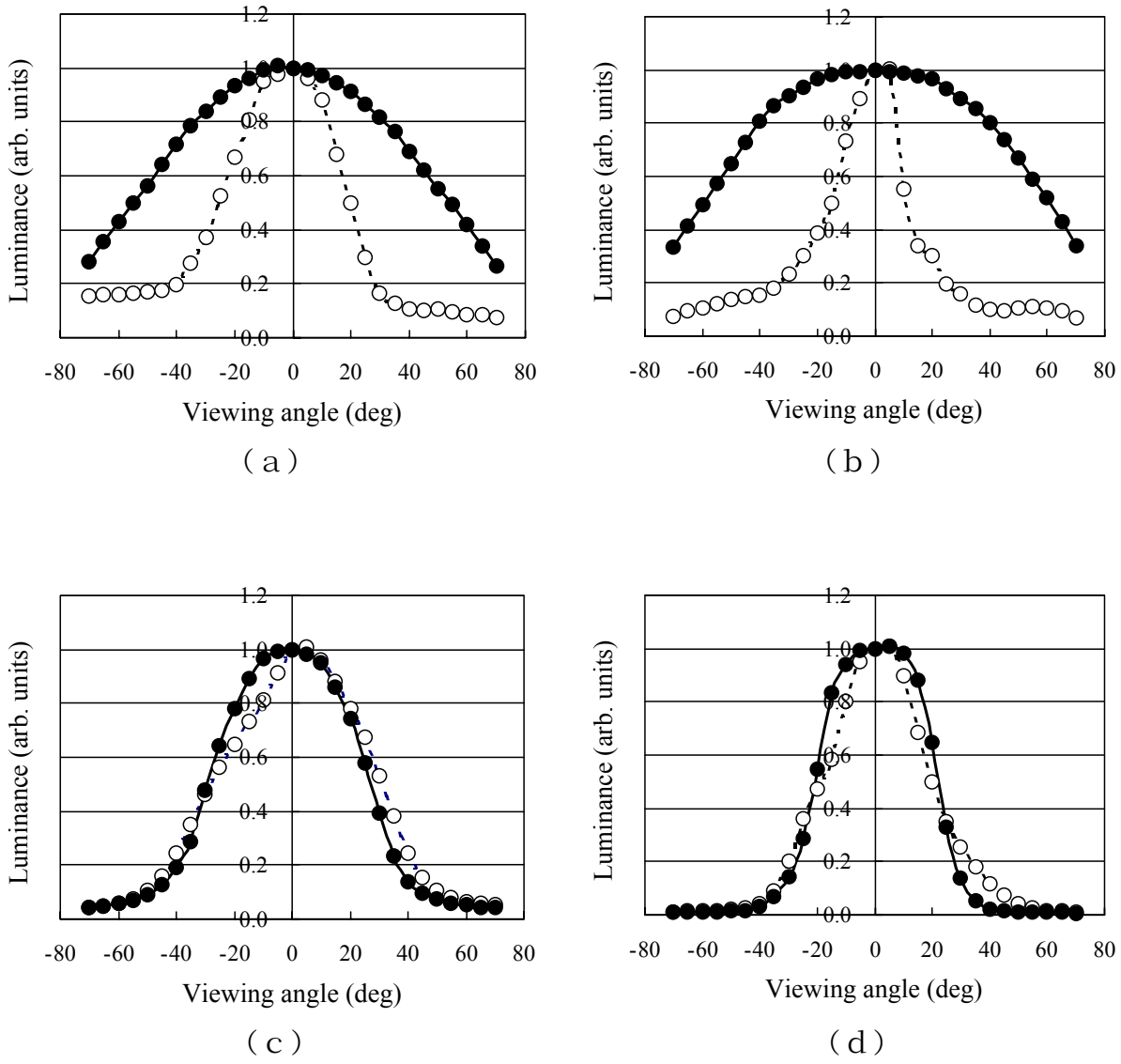


図５．１１　光学パターンの形状が（a）傾斜の緩やかなシリンドリカルレンズ、（b）傾斜の急なシリンドリカルレンズ、（c）傾斜の緩やかなマイクロレンズ、（d）傾斜の急なマイクロレンズを用いた OPF バックライトの視野角依存性（黒丸：伝搬方向に対して平行方向、白丸：直交方向）

５．６．２　面内輝度分布

光学パターンに傾斜の急なマイクロレンズを用いた OPF バックライトの面内輝度分布を図５．１２および図５．１３に示している。光学パターンの間隔 *D* が均一な場合は、図５．１２のように光源からの距離が大きくなるほど輝度が低下し、最大輝度に対する最小輝度の割合が 0.2 以下になった。一方、光学設計に基づいて光学パターンの間隔 *D* を調整した場合は、図５．１３のように輝度分布の均一性が向上することが確かめられた。尚、図５．１３に示すような面内輝度分布が得られた OPF バックライトでは、光源と反対側および左右両側の端面での反射も考慮した光学シミュレーションを行い、光学パターンの間隔 *D* を設計した。

LCD で自然な画像を得るためには中央部の輝度を周辺部より高くする必要があり、バックライトにも同様の面内輝度分布が要求されている。OPF バックライトは、光学パターンの間隔を調整することによって面内の輝度分布を制御でき、LCD に適した輝度分布を実現できる可能性のあることが確かめられた。

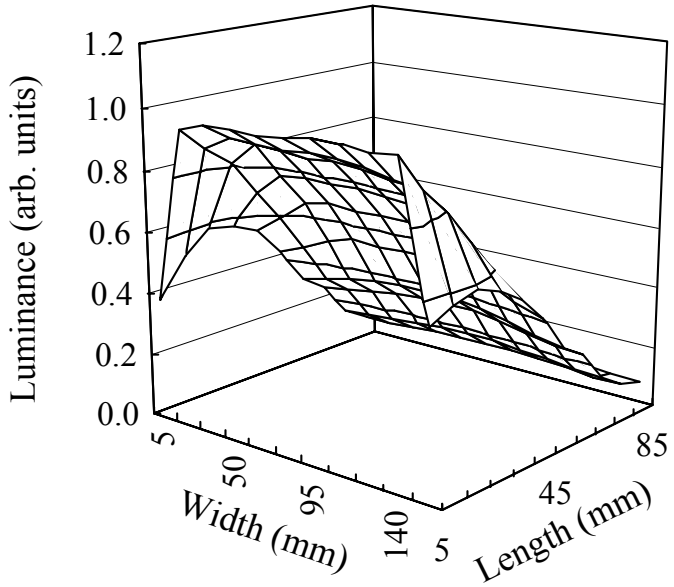


図５．１２　光学パターンの間隔が均一な OPF バックライトの面内輝度分布

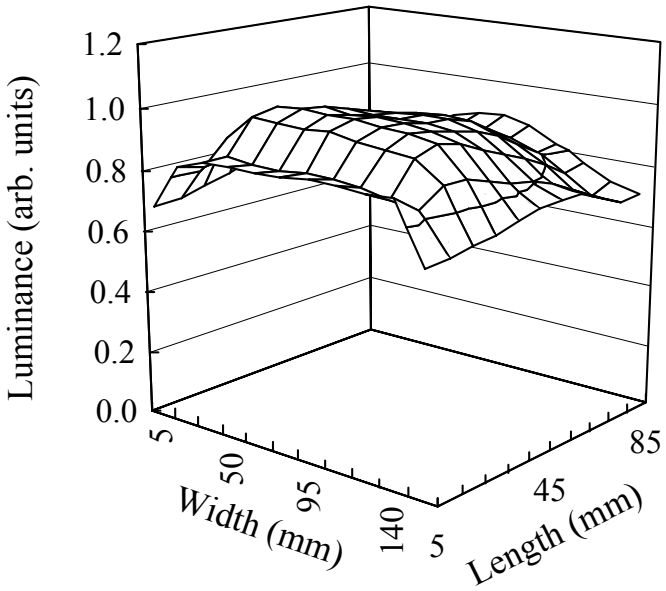


図５．１３　光学パターンの間隔を調整した OPF バックライトの面内輝度分布

５．６．３　光取出し効率

全出射光量の測定に用いた従来のバックライトおよび OPF バックライトの構成を表５．１に示している。評価結果を表５．２に示しているが、傾斜の緩やかなマイクロレンズ、および傾斜の急なマイクロレンズを光学パターンに用いた OPF バックライトの全出射光量は従来のバックライトと比較し、114 および 117%であった。従来のバックライトでは、伝搬光の光取出しにドットパターンでの光散乱が利用されているため、LCD 側に出射しない光が存在する。これに対し、OPF バックライトでは、全反射のみ利用しているため、LCD 側への有効な光取出しや出射の行われることが確かめられた。

OPF バックライトは光取出し効率が高く、LCD としての光利用効率の向上に繋がるため、LCD の高輝度化や消費電力低減に有効であることが示された。

表５．１　全出射光量の測定に用いた従来の導光型バックライトおよび OPF バックライトの構成

Conventional backlight unit	OPF backlight unit
Diffusive sheet	Diffusive sheet
Prism sheet	Light guide plate bonded to OPF
Light guide plate with dot patterns	Reflective sheet
Reflective sheet	

表５．２　従来の導光型バックライトに対する OPF バックライトの全出射光量の評価結果

	Conventional backlight unit	OPF backlight unit	
Shape of optical pattern	—	Gently sloped microlens	Steeply sloped microlens
Total light intensity (%)	100	114	117

５．７　まとめ

LCD に用いられるバックライトには、高輝度化、薄型軽量化、および光利用効率の向上が求められている。このような要求に対応するため、光学パターン形成フィルムを用いた OPF バックライトを考案した。OPF バックライトは、光学パターン形成フィルムが接着された導光板、拡散シート、反射シート、および光源で構成されており、従来の導光型バックライトに比べ薄型軽量化が可能である。OPF バックライトの光学シミュレーションを行うと共に、光学フィルム表面への微細パターン形成技術によって、光学シミュレーションに基づいた OPF バックライトの試作、評価を行い、諸特性を明らかにした。以下に得られた結論を示す。

（１）OPF バックライトは、光学パターンにシリンドリカルレンズタイプを用いると導光板の内部を伝搬する光に平行な方向と直交する方向のどちらか一方、またマイクロレンズタイプを用いると両方向を集光することができる。また、両タイプとも、傾斜角度を変えることによって、出射光の視野角依存性を制御することができる。
（２）OPF バックライトの面内輝度分布は、光学パターンの間隔を調整することによって制御可能であり、LCD に適した面内輝度分布を得ることができる。
（３）光硬化性樹脂を用いて PMMA 系フィルムの表面に光学パターンを形成し、この光学パターン形成フィルムを PMMA 板に接着した OPF バックライトは、ほぼ光学シミュレーション通りの視野角依存性と面内輝度分布を得ることができる。
（４）実際に試作した OPF バックライトは、従来の導光型バックライトより高い光取出し効率を得られることが確かめられた。

以上、光学フィルムの表面への微細パターン形成技術を応用した OPF バックライトは、従来の導光型バックライトより薄型軽量化を図ることができると共に、各種用途の LCD に対応可能な出射視野角や面内輝度分布を得られることが確かめられた。更に、光取出し効率が高いため、LCD の高輝度化や低消費電力化にも有効であることが明らかになった。

参考文献

1) A. Horibe, M. Izhuara, E. Nihei, and Y. Koike: “Brighter Backlights Using Highly Scattered Optical-Transmission Polymer”, SID Int. Symp. Dig. Tech. Pap., Vol.26, 1995, pp.379-381.
2) A. Tagaya, M. Ngai, Y. Koike, and K. Yokoyama: “Thin Liquid-Crystal Display Backlight System with Highly Scattering Optical Transmission Polymers”, Appl. Opt., Vol.40, 2001, pp.6274-6280.
3) H. Suzuki, M. Horiguchi, T. Okumura, A. Tagaya, and Y. Koike: “Highly Efficient LCD Backlight Having No Optical Film”, Proc. 10th Int. Display Workshop, Fukuoka, 2003, p.673-676.
4) K. Käläntär, S. Matsumoto, T. Onishi, and K. Takizawa: “Optical Micro Deflector Based Function Light-Guide Plate for Backlight Unit”, SID Int. Symp. Dig. Tech. Pap., Vol.31, 2000, pp.1029-1031.
5) K. Käläntär, S. Matsumoto, T. Katoh, and T. Mizuno: “Double-Side Emmisive Backlight Unit for Transmssive LCD Using a Single Functional Light-Guide Plate”, Proc. 10th Int. Display Workshops, Fukuoka, 2003, pp.661-664.
6) M. Shinohara, J. Takagi, M. Oba, and M. Takeuchi: “Curved Prism Array for Controlling Directivity of LCD Backlight”, Proc. 10th Int. Display Workshops, Fukuoka, 2003, pp.665-668.
7) A. Funamoto, Y. Kawabata, M. Ohira, and S. Aoyama: “Prism-Sheetless High Bright Backlight System for Mobile Phone”, Proc. 11th Int. Display Workshops, Niigata, 2004, pp.687-690.
8) A. Funamoto, M. Yoshida, K. Sakurai, M. Ohira, Y. Kawabata, and S. Aoyama: “Diffusive-Sheetless Backlight System for Mobile Phone”, Proc. 12th Int. Display Workshops in conjunction with Asia Display 2005, Takamatsu, 2005, pp. 1277-1280.

第６章　ＬＥＤ光源を用いた薄型バックライト

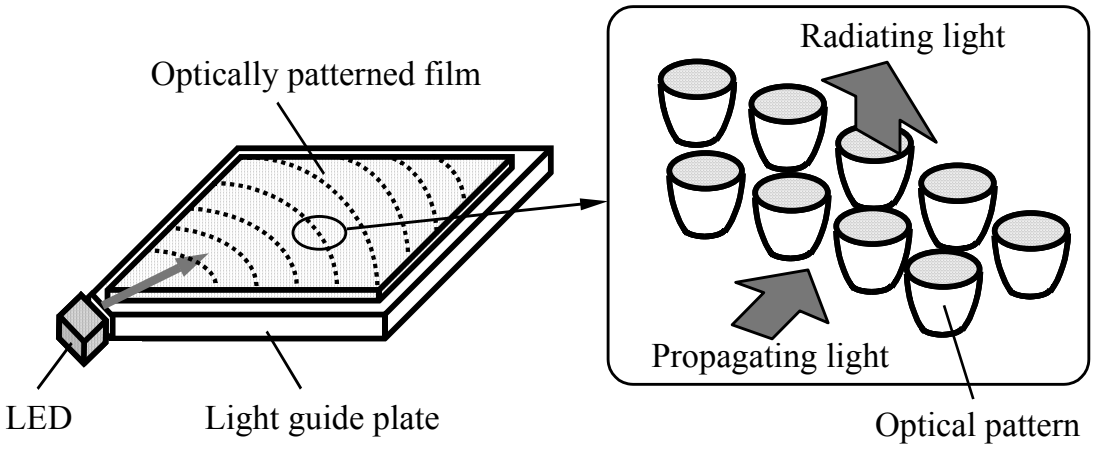
６．１　はじめに

LCD 向けバックライトの光源には従来より冷陰極管が広く用いられてきたが、LED の高輝度化、薄型化、および低価格化に伴って LED への置換えが進んでいる。従来構造のバックライトでの置換えに加え、LED を光源に用いた各種の導光型バックライトも提案されており [1-4]、主に携帯電話、携帯情報端末機器、ノートパソコンなど小型軽量化の要求が厳しい小型 LCD 用途で使用されている。第５章で述べたように、光学パターン形成フィルムを用いた OPF バックライトは、レンズ形状の光学パターンによって導光板内部を伝搬する光の取出し、および出射光の視野角依存性を制御しており、従来のバックライトで出射光を集光するために用いられているプリズムシートが不要になるため、LCD の小型軽量化に有効である。OPF バックライトの光源に LED を用いることによって更なる薄型軽量化を実現できる可能性があるが、複数個の LED を光源に用いた OPF バックライトには LED と LED の間に暗部が発生し、LCD に要求される画質を得られないという課題があった。

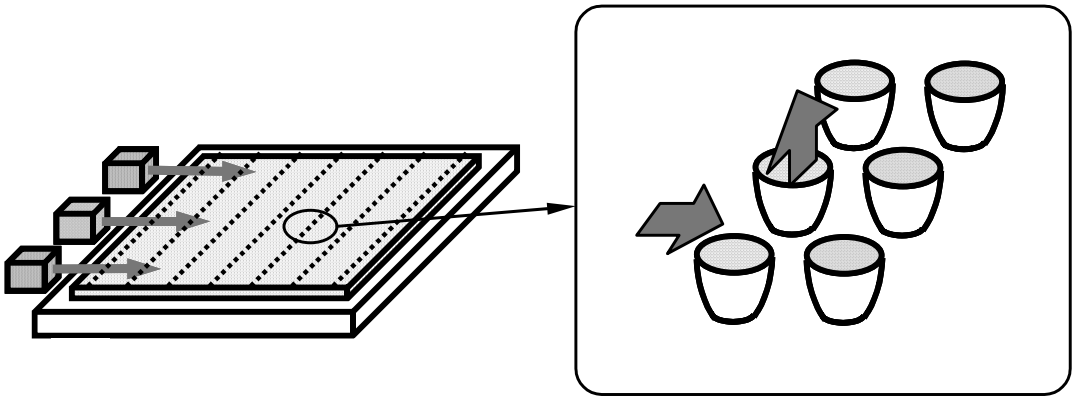
従来のバックライトは、導光板、拡散シート、2 枚のプリズムシート、および複数個の LED で構成されており、導光板の内部を伝搬する光の取出しは導光板の表面に形成されたドットパターンの光散乱が利用されている。また、取出された光の拡散光への変換、ドットパターンによる強度ムラの解消、および画質を向上するため、光拡散度の大きい拡散シートが用いられている。このように、従来のバックライトは光散乱、屈折、および光拡散を利用しているため、光源を冷陰極管から複数の LED に置き換えても暗部は発生し難い。一方、OPF バックライトでは、伝搬光の光取出しと取出された光の集光は光学パターンでの全反射のみ利用され、画質の向上のみを考慮した光拡散度の小さい拡散シートが使用されている。従って、図６．１（ａ）のように 1 個の LED を導光板のコーナーに設置した OPF バックライトでは暗部が発生し難いが、図６．１（ｂ）のように複数個の LED を導光板の 1 辺に設置すると LED と LED の間に暗部が発生する。

本章では、複数個の LED を光源に用いた OPF バックライトの画質向上を目的に光学パターンの設計を行い、光硬化性樹脂を用いた光学フィルムへの微細パターン形成技術を利用した原理サンプルの試作、評価によって、LED と LED の間に発生する暗部を解消可能なことを示している。また、面内の輝度分布、および出射光の視野依存

性を評価し、LCD に要求される性能を満足すると共に、狭い出射角度が得られるため小型 LCD に適していることを示している。更に、光学パターンに光拡散機能を追加することによって導光型バックライトに必要な機能を一体化すると共に、導光板を導光フィルムに変えることによって、光学パターン形成フィルムと導光フィルムで構成された超薄型バックライトを実現でき、ロール・トゥ・ロール方式により連続的に生産できる可能性のあることを述べている。



（a）



（b）

図６．１　光源として（a）1 個の LED を導光板のコーナーに設置、および（b）3 個の LED を導光板の 1 辺に設置した OPF バックライト

６．２　薄型バックライト向け光学パターンの設計

OPF バックライトの面内輝度分布は、光学パターンの間隔を調整することによって制御できる。LED と LED の間に発生する暗部を解消するためには、光学パターンを LED 近傍では広く、LED と LED の間では狭くする必要がある。また、導光型バックライトでは、光源近傍は導光板の内部を伝搬する光は容易に取出され、光源から離れる程、取出され難くなる。このような 2 つの点を考慮し、光線追跡法によってバックライトに要求される面内輝度分布を実現するための光学パターンを設計した。

光学パターンの設計では、OPF バックライトに用いられる導光板の大きさと厚みをそれぞれ 34×48mm^2 および 0.5mm と仮定し、LED を想定した点状の光源が導光板の短辺に 11mm 間隔で 3 個所設置されると仮定した。また、光学パターンは、図６．２のようなマイクロレンズ形状と仮定した。ただし、図６．２に示している x 方向と y 方向はそれぞれ導光板の短辺に平行な方向および垂直な方向であり、導光板内部の光は y 方向に伝搬すると仮定した。このような OPF バックライトにおいて、暗部を解消し、更に LCD に要求される面内輝度分布を得るための光学パターンの間隔を設計した結果を図６．３に示している。図６．３のように、光学パターンの間隔は光源と光源の間では 56μm、また光源の近傍では 72μm になった。

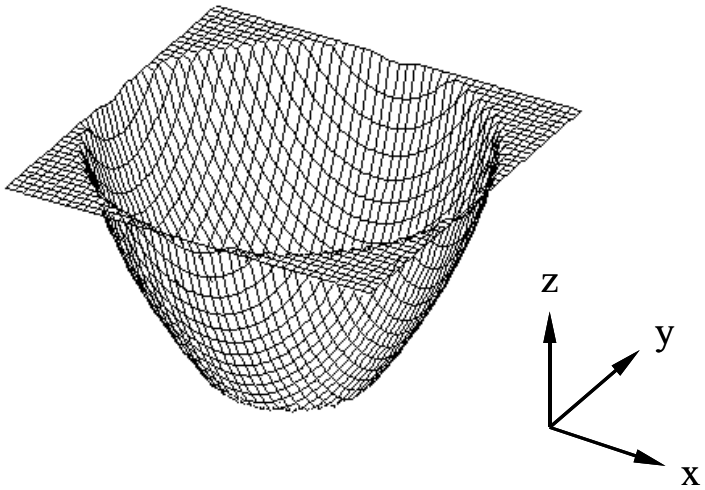


図６．２　設計に用いた光学パターンの形状

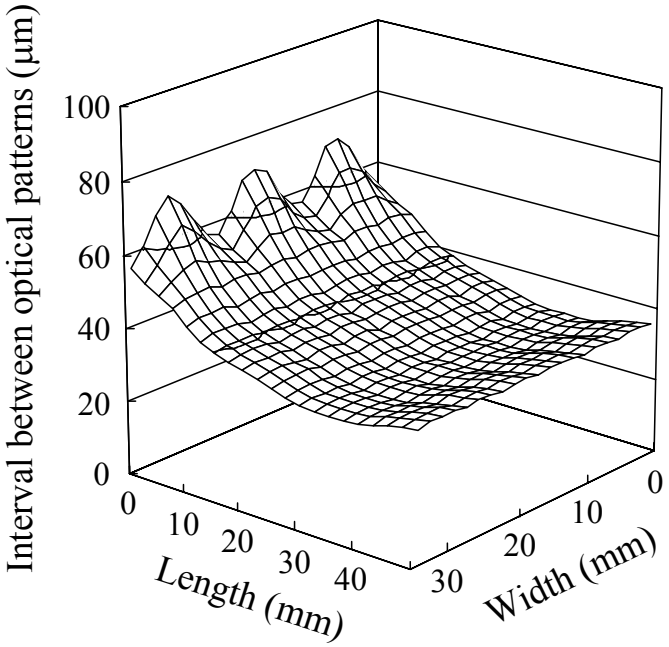


図６．３　光学パターンの間隔の計算結果

６．３　薄型バックライトの作製プロセス

薄型バックライト向け光学パターン形成フィルムは、光硬化性樹脂を用いた微細パターン形成技術によって作製した。LED を光源に用いた薄型バックライト向け光学パターンは間隔の変化量を大きくするため、マイクロレンズの直径を小さくする必要がある。また、マスク露光時の紫外線の光回折を利用する方法では、光学パターンの間隔が大きく変わると断面形状も変化する。そこで、ガラス原盤の作製にはレーザー直接描画法を用い、XY ステージを用いてガラス原盤を移動しながら波長 413nm のレーザー光を照射した。また、レーザー光の照射強度を変えることによって、光学パターンの断面形状を精密に制御した。光学フィルムは、厚さ 0.125mm の PMMA 系フィルムを用いた。

2.2 インチサイズの導光板として、射出成型法や押出成型法で作製可能な最も薄い厚さ 0.5mm の PMMA 板を用い、大きさは 35×50mm^2 とした。バーコート法によって、日本化薬製の紫外線硬化型接着剤 GGM-012 を導光板の表面に厚さ 10μm コートした。光学パターンが埋まり過ぎないように圧力を調整しながら光学パターン形成フ

ィルムを導光板に貼り合わせ、紫外線照射によって接着剤を硬化した。

拡散シートには恵和製 OPALUS BMU-3S を用い、反射シートには東レ製 Lumirror E60L を用いた。また、光源として、日亜化学製 LED NACW213 を導光板の短辺に 11mm 間隔で 3 個設置した。実際に作製した薄型バックライトの構成を表６．１に示している。光学パターン形成フィルムを用いた OPF バックライトは、光源に LED を用いることによって総厚が 0.86mm まで薄くなり、従来のバックライトの総厚 1.0mm よりも薄型化を図ることができた。

表６．１　光源に LED を用いた従来のバックライトおよび光学パターン形成フィルムを用いた薄型バックライトの構成

Conventional backlight unit		Slim backlight unit	
Component	Thickness (mm)	Component	Thickness (mm)
Diffusive sheet	0.1	Diffusive sheet	0.1
Prism sheet	0.15	Optically patterned film (OPF)	0.15
Prism sheet	0.15	Photocurable adhesion	0.01
Light guide plate with dot patterns	0.5	Light guide plate	0.5
Reflective sheet	0.1	Reflective sheet	0.1
Total thickness	1.0	Total thickness	0.86

６．４　光学パーンの形状

実際に作製した光学パターンの電子顕微鏡写真を図６．４に示している。図６．４に示している光学パターンは光学パターン形成フィルムの中心付近であり、光学パターンの直径と段差、および光学パターンの間隔はそれぞれ 32、22、および 34μm である。導光板に接着するため、光学パターンの頂部には直径 12μm の平坦部が形成されている。

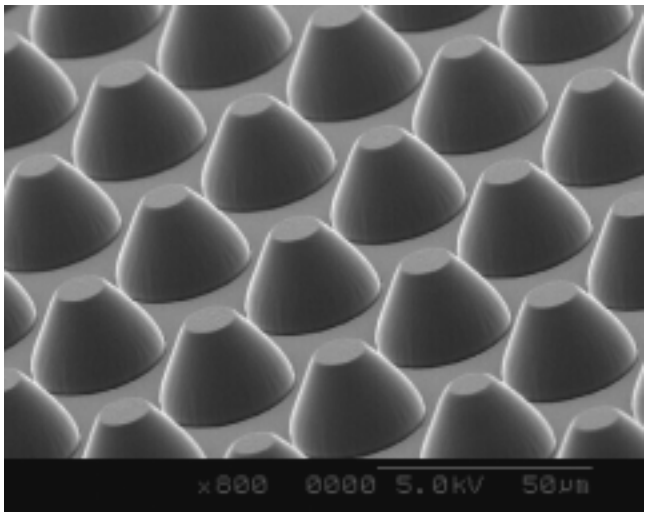


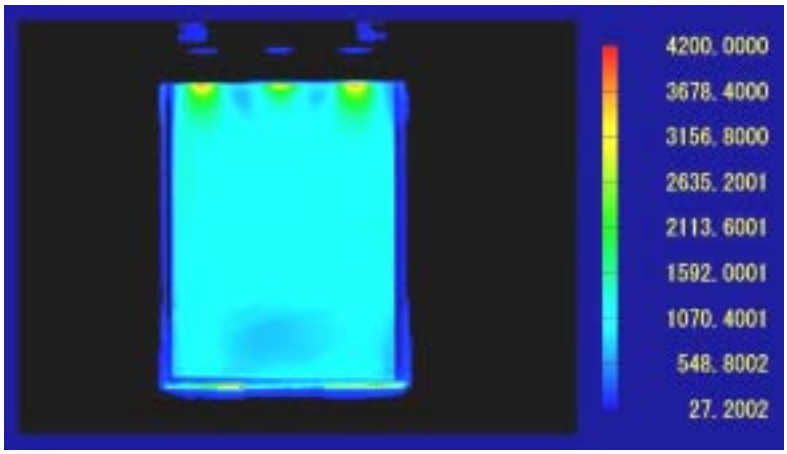
図６．４　薄型バックライト向け光学パターンの電子顕微鏡写真

６．５　薄型バックライトの光学性能

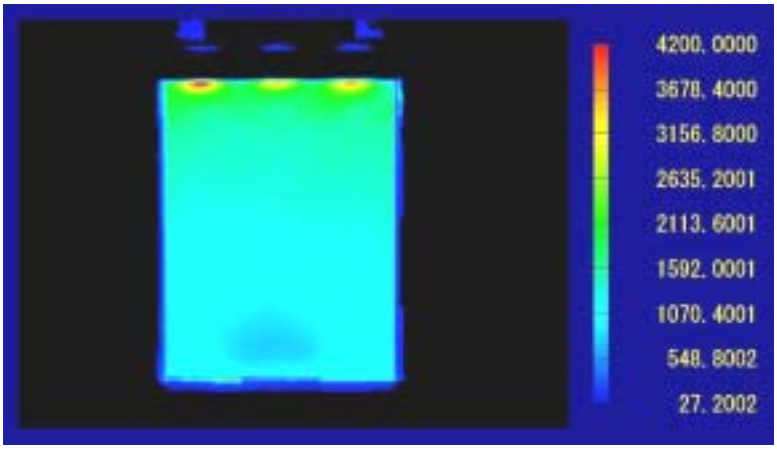
実際に作製した薄型バックライトの面内輝度分布は、CCD カメラを用いた面内ムラ計測装置によって評価した。また、出射光の視野角依存性は、トプコン製輝度計 BM-7 とゴニオメーターを用い、ゴニオメーターで薄型バックライトを回転しながら輝度を測定することによって評価した。

６．５．１　面内輝度分布

マイクロレンズ状パターンの直径を 32μm とし、伝搬光に対して平行方向および直交方向とも光学パターンの間隔を均一な 35μm としたときの薄型バックライトの面内輝度分布の測定結果を図６．５（ａ）に示している。図６．５（ａ）のように光学パターンの間隔が均一な場合は、LED と LED の間に暗部が発生した。これに対して、光学設計に基づいて光学パターンの間隔を調整した場合は、図６．５（ｂ）のように暗部が解消され、LCD に要求される面内輝度分布を得ることができた。



（a）



（b）

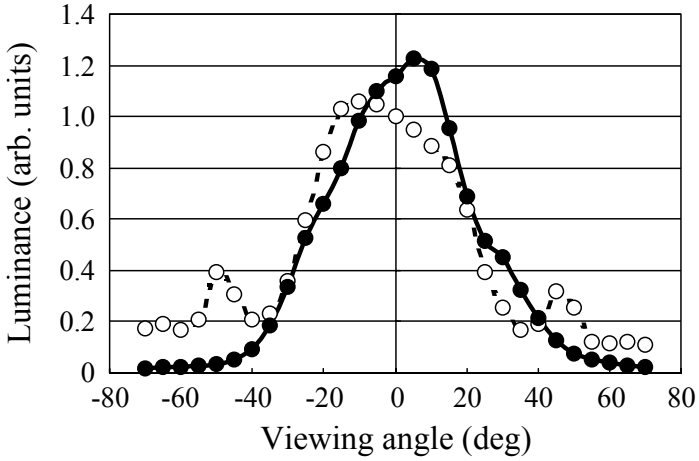
図６．５　光学パターンの間隔が（a）均一な薄型バックライト、および（b）調整された薄型バックライトの面内輝度分布

６．５．２　視野角依存性

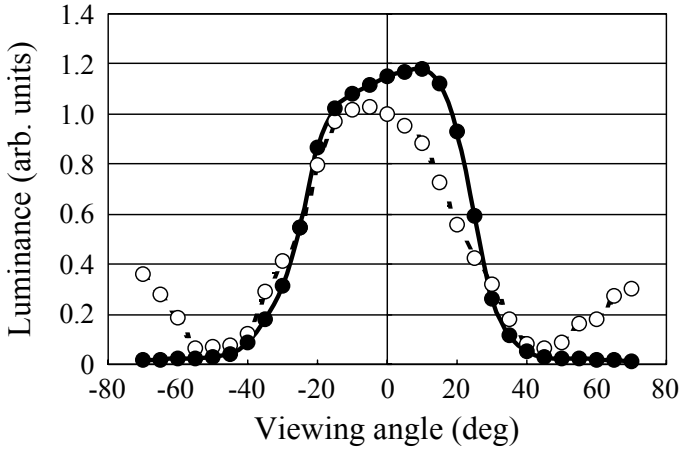
従来のバックライトおよびマイクロレンズ状パターンを用いた薄型バックライトについて、伝搬光に対して平行方向と直交方向の出射光の視野角依存性をそれぞれ図６．６（a）と（b）に示している。

小型 LCD 向けバックライトでは、正面方向の輝度を下げることなく低消費電力化を図るため、平行方向、直交方向とも極力狭い出射角度が要求されている。出射光の

輝度が最大値の 1/2 になる角度(FWHM: Full Width at Half-Maximum)を測定した結果、従来のバックライトの FWHM は水平方向、直交方向とも 48°であった。一方、薄型バックライトの FWHM は水平方向 44°および直交方向 48°であり、従来のバックライトに比べ水平方向、直交方向とも狭い出射角度が得られたため、正面方向の輝度を 15%高くすることができた。最大輝度の出射角度が正面方向からずれたのはガラス原盤の作製時に光学設計通りの光学パターンを形成できなかったことが原因であり、パターン形状の最適化によって正面方向の輝度を更に向上することができる。



（ａ）



（ｂ）

図６．６　薄型バックライト（黒丸）、および従来のバックライト（白丸）の視野角依存性（伝搬光に対して（ａ）平行方向、（ｂ）直交方向）

６．６　超薄型バックライト

光学パターン形成フィルムの作製に用いる光硬化性樹脂に光拡散材を添加することによって光学パターンに光拡散機能を付加し拡散シートを省略できること、更に導光板を導光フィルムに変更することによって、光源に LED を用いた OPF バックライトの超薄型化が可能になることを示している。

また、超薄型バックライトは曲げることが可能なため、連続成型技術によって作製したロール状の光学パターン形成フィルムおよびロール状の光学フィルムを用い連続的に貼り合わせることによって、ロール・トゥ・ロール方式による連続生産を実現できる可能性のあることを議論している。

６．６．１　超薄型バックライトの構造

従来のバックライトに用いられている拡散シートは、取出された光の拡散光への変換、ドットパターンによる明暗ムラの解消、および画質向上の機能を果たしているため、大きな光拡散度が要求される。一方、OPF バックライトに要求される拡散シートの機能は画質向上のみであるため、小さな光拡散度で良い。そこで、超薄型バックライトでは、光硬化性樹脂に拡散材を添加することによって、光学パターン形成フィルムに伝搬光の光取出し機能と取出された光の集光機能に加え、光拡散の機能を付与している。これによって、画質向上のための拡散シートが不要になる。また、従来のバックライトでは導光板の表面に伝搬光を取出すためのドットパターンを形成する必要があり平坦な光学フィルムを使用できないが、OPF バックライトでは導光板にパターンを形成する必要が無いため、導光板に代わりに導光フィルムを用いることができる。更に、OPF バックライトでは、反射シートは大幅な輝度向上の機能を果たさないため、超薄型バックライトでは薄型化を優先し、反射シートを省略した。図 6．７に超薄型バックライトの構造を示している。

光拡散材を添加した光学パターンでは、図６．８のように導光フィルムの内部を伝搬する光が接着領域で取出された後、光学パターンの斜面での全反射により正面方向に集光される。その後、光拡散材によって拡散光に変換されて LCD の方向に出射するため、LCD に要求される視野角依存性を得ることができる。また、LCD 画像を観察したときは、拡散シートの役割も果たすため良好な画像を得ることができる。

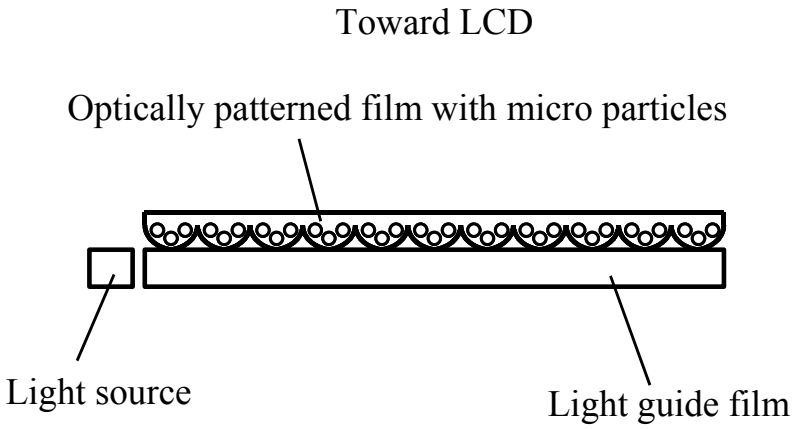


図６．７　超薄型バックライトの構造

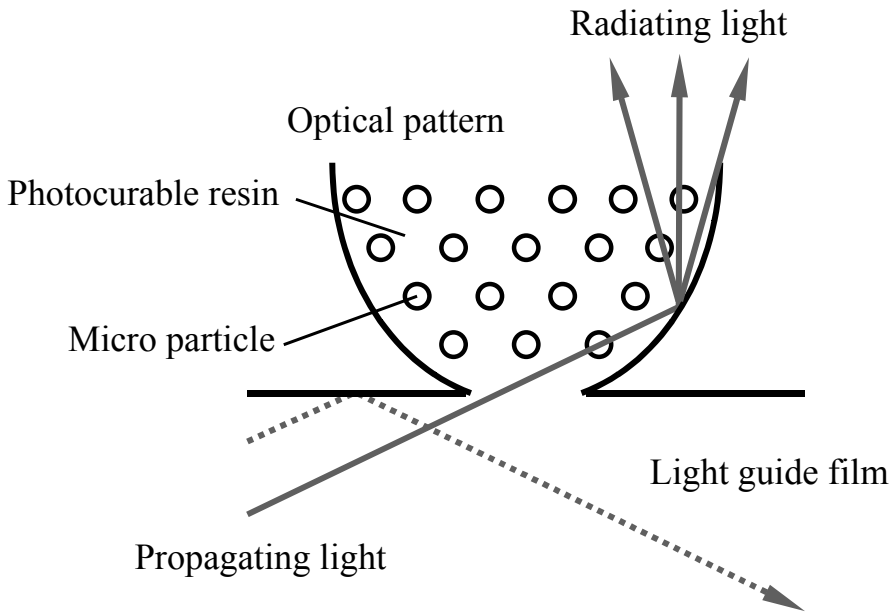


図６．８　光拡散材を添加した光学パターンによる光出射

６．６．２　拡散材添加光硬化性樹脂の組成

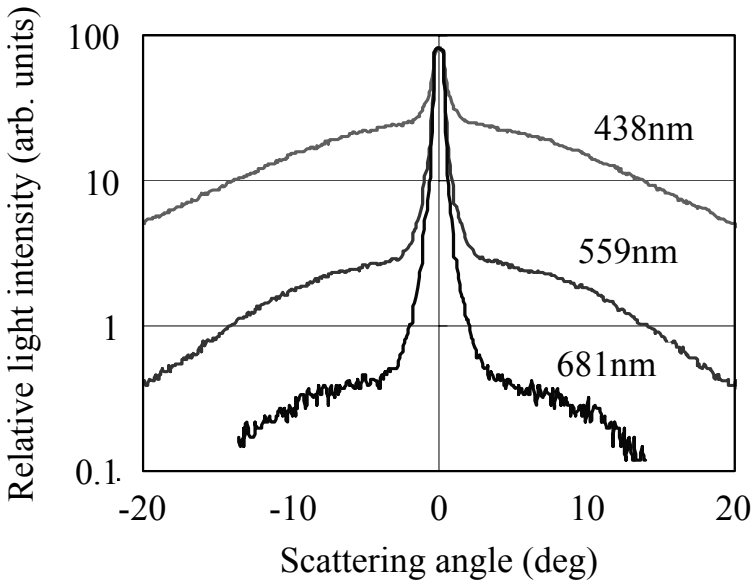
光拡散材を添加した光硬化性樹脂の組成を決定するため、表６．２に示すように光硬化性樹脂の屈折率および光拡散材の平均粒径の異なる材料を調製した。ただし、光拡散材の屈折率は 1.498 であり、光硬化性樹脂に 10wt%添加した。光拡散度を評価した結果、光硬化性樹脂と光拡散材との屈折率差が大きい程、また光拡散材の平均粒径が小さくなる程、光拡散度が大きくなった。しかし、光拡散度が大きい場合は拡散光が着色し LCD の画質を低下させるため、拡散光が着色しない組成を選定する必要があった。

表６．２　拡散材を添加した光硬化性樹脂の組成

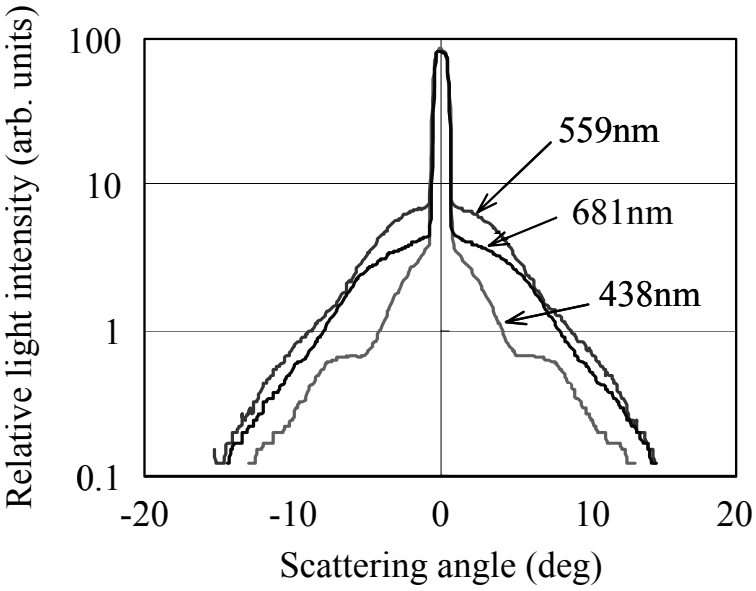
Run	Refractive index of photocurable resin	Particle size (μm)	ΔnD
1	1.581	2.4	0.2
2	1.561	5.4	0.34
3	1.581	5.4	0.45
4	1.621	5.4	0.62

光拡散材を添加した導光板の解析には Mie 散乱理論が利用されており[5)]、この理論に基づいて材料組成の設計を行った。Mie 散乱理論によれば、光散乱の効率 Q_{sca} は、光拡散材と光拡散材を添加した材料との屈折率差 Δn、光拡散材の粒径 D、および入射光の波長λに依存し、波長 438、559、および 681nm における屈折率差と粒径の積（ΔnD）に関係する。しかし、ΔnD がほぼ 0.34 の場合は、各波長の Q_{sca} が一致するようになる。

表６．２に示している Run 1 と Run 2 の材料を光学フィルムの表面に厚さ 30μm コートし、紫外線照射後の光散乱特性を評価した。ΔnD が 0.2 と 0.34 の光拡散材添加光硬化性樹脂の光散乱特性を図６．９（ａ）および（ｂ）に示している。Mie 散乱理論の通り、ΔnD が 0.2 の材料組成では光散乱の波長依存性が大きくなったが、0.34 の材料組成では波長依存性を低減することができた。



（a）



（b）

図６．９　ΔnD が（a）0.20、および（b）0.34 の拡散材添加光硬化性樹脂の光散乱特性

６．６．３　超薄型バックライトの作製プロセス

超薄型バックライト向け光学パターン形成フィルムは、光硬化性樹脂を用いた微細加工技術によって作製した。拡散材添加光硬化性樹脂として、硬化後の屈折率が 1.561 の光硬化性樹脂を用い、ΔnD が 0.34 になるように屈折率 1.498、平均粒径 5.4μm の光拡散材を添加した。PMMA 系フィルムは、厚さ 0.5mm 以上の PMMA 板とは異なりゴム成分が配合されているため、光散乱が大きく、導光フィルムとして使用できない。そこで、導光フィルムには、厚さ 0.1mm の JSR 製アートンフィルムを用いた。これに併せ、膨張係数の違いによる反りの発生および反りによる光学パターンと紫外線硬化型接着剤との剥離を防止するため、光学パターンを形成した光学フィルムにも厚さ 0.1mm のアートンフィルムを用いた。日本化薬製の紫外線硬化型接着剤 GGM-012 を導光フィルムの表面に厚さ 10μm コートし、圧力を加えながら紫外線を照射することによって光学パターン形成フィルムを接着した後、大きさ 80×60mm^2 の 3.5 インチサイズに切断した。

このように作製した光学パターン形成フィルムを用いた OPF バックライトの構成を表６．３に示しているが、総厚 0.26mm という超薄型化を図ることができた。

表６．３　超薄型バックライトの構成

Component	Thickness (mm)
Optically patterned film (OPF)	
Transparent film	0.1
Photocurable resin with micro particles	0.05
Photocurable Adhesion	0.01
Light guide film	0.1
Total thickness	0.26

LED の薄型化が進んでいるものの、厚さ 0.1mm の導光フィルムに入光可能な LED が入手できなかったため、図６．１０に示すようなライトガイドを用いた。このライ

トガイドは光ファイバで構成されており、入光部の大きさを直径 5mm とし、出光部の大きさを 0.01×80mm² とした。LED には、日亜化学製 NSPW500CS を 1 個用いた。

図６．１０　実際に作製した超薄型バックライト

６．６．４　超薄型バックライトの光学性能

超薄型バックライトの視野角依存性を図６．１１に示している。伝搬光に平行な方向および直交する方向の出射光の FWHM はそれぞれ 50 および 36°であり、また面内の最大輝度に対する最小輝度も 50%以上と LCD に要求される性能を達成できる可能性のあることが確かめられた。しかし、正面方向の輝度が 200cd/m² と低く、これは LED からライトガイドへの入光効率およびライトガイドから導光フィルムへの入光効率が低いことに起因している。従って、導光フィルムを用いた超薄型バックライトの実用化には、高効率な入光デバイスの開発が必要である。

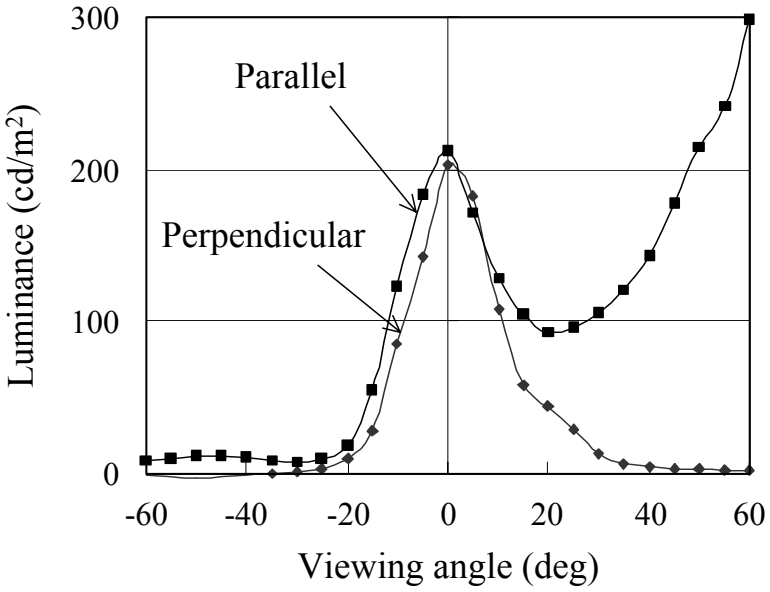


図６．１１　超薄型バックライトの視野角依存性

６．６．５　連続生産プロセスへの適用

従来のバックライトは、裏面にドットパターンが形成された導光板が射出成型法で作製され、プリズムシート、拡散シート、および反射シートが積み重ねられているため、連続的に生産できない。しかし、超薄型バックライトは、厚さ 0.15mm の光学パターン形成フィルムと厚さ 0.1mm の導光フィルムが厚さ 0.01mm の紫外線硬化型接着剤で接着された構造であり、図６．１２のように R80mm まで曲げることも可能である。従って、連続成型プロセスで作製されたロール状の光学パターン形成フィルムとロール状の導光フィルムを用い、ダイコーターなどで紫外線硬化型接着剤を導光フィルムの表面にコートしながら、圧力を加えて紫外線を照射することによってロール状のバックライトを連続的に作製できる可能性がある。更に、超薄型バックライトの総厚は 0.26mm であるため容易に切断でき、切断後に光源を取り付けることによってバックライトが完成できる可能性がある。

ロール・トゥ・ロール方式による超薄型バックライトの連続生産プロセスを図６．１３に示している。

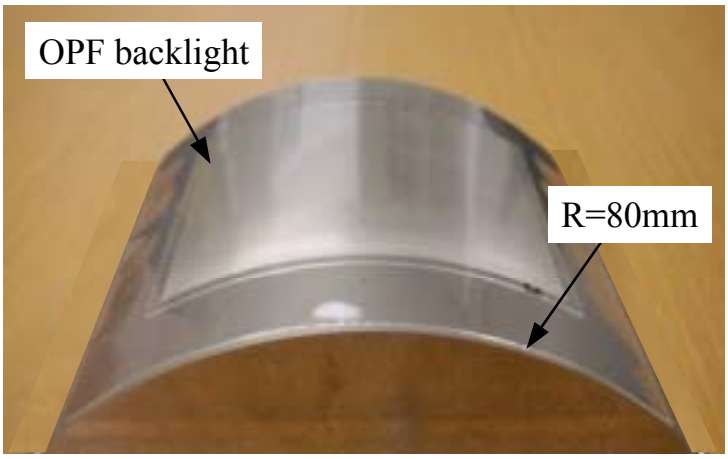


図６．１２　超薄型バックライトを曲げたときの写真

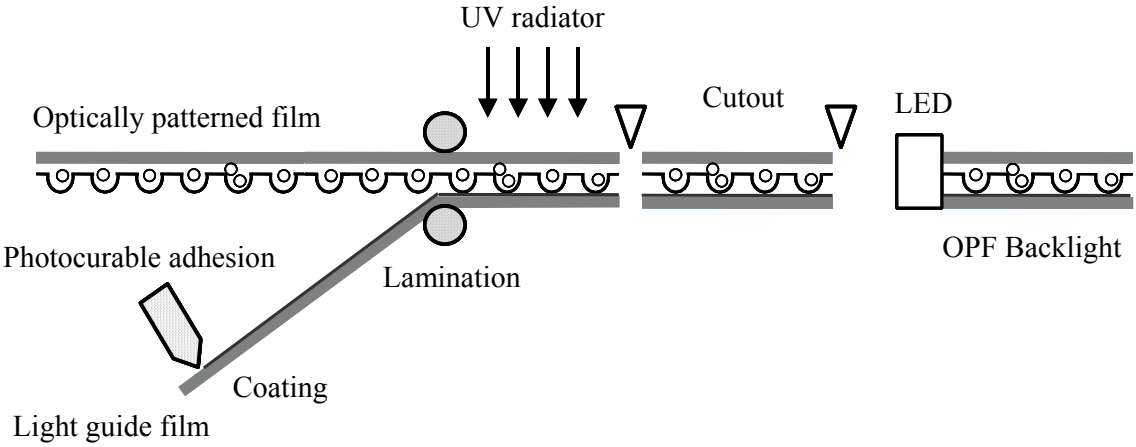


図６．１３　超薄型バックライトの連続生産プロセス

６．７　まとめ

光学パターン形成フィルムを用いた OPF バックライトの更なる薄型化を目的に、光源に LED を用いた薄型バックライトの光学シミュレーションを行った。更に、光学フィルム表面への微細パターン形成技術を用いた原理サンプルの試作、評価によって諸特性を明らかにした。次いで、光硬化性樹脂に光拡散材を添加することによって

導光型バックライトに必要な機能を一体化した光学パターン形成フィルムを用いた超薄型バックライトの試作、評価を行い、諸特性を明らかにした。以下に得られた結論を示す。

（１）光源に複数個の LED を用いた薄型バックライトは LED と LED との間に暗部が発生するという課題が発生するが､光学パターンの間隔を LED と LED の間は狭く、LED 近傍は広くすることによって、暗部を解消することができる。これに加えて、導光板全面の伝搬光の強度を考慮して光学パターンの間隔を調整することによって、LCD に要求される面内輝度分布を達成することができる。

（２）光学パターンの形状を調整することによって、出射光角度を伝搬光に対して平行な方向、直交する方向とも従来のバックライトより狭くすることができる。更に光利用効率が高いため、正面方向の輝度を 15%向上することができる。

（３）光拡散材を添加した光硬化性樹脂を用いて作製した超薄型バックライトは出射光が着色するという課題が発生したが、光硬化性樹脂の屈折率およびこれに添加する光拡散材の屈折率と粒径を調整することによって、着色を解消することができる。

（４）超薄型バックライトの面内輝度分布と視野角依存性は、LCD に要求される性能を満足することができる。しかし、LED と導光フィルムの間に設置したライトガイドの入光効率が低く正面方向の輝度が低くなったため、高効率な入光デバイスを開発する必要がある。

以上、光源に LED を用いた薄型バックライトは LCD に要求される面内輝度分布や視野角依存性を達成できると共に、正面方向の輝度が従来のバックライトより高くなることが確かめられた。また、従来のバックライトより総厚が薄いため、携帯電話、携帯情報端末機器、ノートパソコンなどの中小型 LCD の高輝度化、低消費電力化、および薄型軽量化に有効であることが明らかになった。また、超薄型バックライトは LCD に要求される面内輝度分布や視野角依存性を達成できると共に総厚 0.26mm であるため、LCD の薄型軽量化に極めて有効であることが明らかになった。更に、ロール・トゥ・ロール方式による連続生産を実現できる可能性があり、生産性の向上にも有効である。

参考文献

1) K. Käläntär, S. Matsumoto, T. Katoh, and T. Mizuno: “Double-Side Emmisive Backlight Unit for Transmssive LCD Using a Single Functional Light-Guide Plate”, Proc. 10th Int. Display Workshops, Fukuoka, 2003, pp.661-664.
2) M. Shinohara, J. Takagi, M. Oba, and M. Takeuchi: “Curved Prism Array for Controlling Directivity of LCD Backlight”, Proc. 10th Int. Display Workshops, Fukuoka, 2003, pp.665-668.
3) A. Funamoto, Y. Kawabata, M. Ohira, and S. Aoyama: “Prism-Sheetless High Bright Backlight System for Mobile Phone”, Proc. 11th Int. Display Workshops, Niigata, 2004, pp.687-690.
4) A. Funamoto, M. Yoshida, K. Sakurai, M. Ohira, Y. Kawabata, and S. Aoyama: “Diffusive-Sheetless Backlight System for Mobile Phone”, Proc. 12th Int. Display Workshops in conjunction with Asia Display 2005, Takamatsu, 2005, pp. 1277-1280.
5) A. Tagaya, M. Nagai, Y. Koike, and K. Yokoyama: “Thin liquid-crystal display backlight system with hightly scattering optical transmission polymer”, Appl. Opt., Vol.40, 2001, pp.6274-6280.

第７章　結論

７．１　本研究の結論

本論文は、プラスチック材料の微細加工技術と光デバイスへの応用に関するものであり、パターンの微細化と断面形状の精密制御、および光デバイスの大面積化、薄型化を可能にする微細加工技術の確立と、高画質、低消費電力、薄型軽量なデジタル画像の入出力装置の実現に寄与する光デバイスへの適用を目的としたものである。本研究の成果を総括して以下に示す。

（１）パターンの微細化と断面形状の精密制御、および光デバイスの大面積化、薄型化を目的として、感光性高分子とドーパントからなる光反応性材料を用いた微細加工技術を提案した。この光反応性材料は、紫外線照射によって膜厚は 85%、また屈折率は 3%と大きく変化し、更に紫外線の照射量による変化が穏やかであるため、パターンの断面形状を精密に制御できることを明らかにした。

（２）更なる光デバイスの大面積化、薄型化を目的として、光硬化性樹脂を用いた光学フィルム表面への微細パターン形成技術を提案した。この微細加工技術は、マイクロレンズのように複雑な形状でも精密に加工可能であり、大きさ 300×300mm^2、厚さ 0.2mm 以下という大面積かつ薄型の光デバイスを作製可能なことを明らかにした。更に、ロール状のスタンパを用いることにより、ロール・トゥ・ロール方式による連続成型も実現可能なことを示した。

このように、新しく提案したプラスチック材料の微細加工技術により、デジタル画像の入出力装置に適した光デバイスが実現可能になることを示した。

（３）CCD カメラ向け GOLF には、回折格子像が発生するという課題、および低周波域の MTF 値が低いため鮮明な画像が得られないという課題があった。このような課題の解消を目的として、光学シミュレーションおよび光反応性材料を用いた微細加工技術による GOLF の試作、評価を行うことによって、回折格子像は、GOLF を CCD の撮像面近傍に設置し、撮像面に投影される実効的な格子周期を CCD の画素あるいはカラーフィルタのアレイ周期と同じにするか、整数分の 1 にすることによって解消可能なことを明らかにした。また、断面形状が正弦波状の GOLF は、±2 次以上の高次回折光の強度が小さく、低周波域の MTF 値を向上できることを示した。

（４）LCD プロジェクタの高画質化を目的として、回折格子型ソフトフォーカスフィルタの光学シミュレーションおよび光反応性材料を用いた微細加工技術による試作、

評価を行うことによって、断面形状が正弦波状の回折格子型ソフトフォーカスフィルタは、±2 次以上の高次回折による投影画像の強度を低減できるため画像コントラストの低下が抑えられ、かつブラックマトリックス像を低減した投影画像の得られることを示した。

（５）LCD の高画質化、低消費電力化、薄型軽量化を目的として、導光板の内部を伝搬する光の取出しおよび取出された光の集光の機能を果たす光学パターン形成フィルムを用いた OPF バックライトを考案した。この OPF バックライトは、光学パターンの形状を制御することによって出射光の視野角依存性を調整できること、光学パターンの間隔を調整することによって LCD に適した面内輝度分布が得られること、および従来のバックライトより高い光利用効率が得られることを明らかにした。更に、光硬化性樹脂を用いた微細パターン形成技術を用いて作製した OPF バックライトは、従来のバックライトより薄型化が図れることを示した。

（６）OPF バックライトの更なる薄型を目的として光源に LED を用いた OPF バックライトは、LED と LED の間に発生する暗部は光学パターンの間隔を LED と LED の間は狭くし、LED 近傍は広くすることによって解消し、これに加えて導光板全面における伝搬光の光強度を考慮して光学パターンの間隔を調整することによって LCD に適した面内輝度分布の得られることを明らかにした。また、正面方向の輝度が従来のバックライトに比べて 15%高いため、薄型軽量化や低消費電力化が要求されている中小型 LCD に適していることを示した。更に、OPF バックライトに適した光拡散性能を得るための拡散材添加光硬化性樹脂の組成を明らかし、この光硬化性樹脂を用いて作製した OPF バックライトは総厚 0.26mm の超薄型化を実現でき、LCD に適した出射光の視野角分布や面内の輝度分布が得られることを明らかにした。更に、この超薄型バックライトは、ロール・トゥ・ロール方式による連続生産も実現できる可能性のあることも示した。

以上、光反応性材料を用いた微細加工技術、および光硬化性樹脂を用いた光学フィルム表面への微細パターン形成技術は、パターンの微細化や断面形状の精密制御、および光デバイスの大面積化や薄型化を実現できることを示した。

次に、これらの微細加工技術を応用した光デバイスは、CCD カメラや LCD プロジェクタの高画質化、薄型軽量化、および LCD の高画質化、低消費電力化、薄型軽量化に有効であることを示した。

７．２　今後の展望

CCD カメラや LCD などのデジタル画像の入出力装置は今後も市場規模が拡大すると予想されているが、これに伴って、加工性、軽量性、量産性などに特徴を有するプラスチック材料を用いた光デバイスは益々応用範囲を拡大すると考えられる。また、デジタル画像の入出力装置の中でも、特に LCD は著しい市場成長が期待されているが、LCD には高画質化、低消費電力化、小型軽量化、および低コスト化の要求が厳しい。本研究を通して得られた超薄型バックライトは、このような LCD に対する要求を満足できる光デバイスとして有望である。LCD に要求されている基本的な性能は達成可能なこと、および連続成型技術によってロール状の光学パターン形成フィルムを作製可能なことは明らかできたため、

・ロール状の光学パターン形成フィルムと導光フィルムを用いた連続生産技術

・LED の出射光を導光フィルムに効率良く入光するための光デバイス

が実現できれば、LCD の発展に寄与できると考えられる。

また、光反応性材料を用いた微細加工技術、および光硬化性樹脂を用いた微細パターン形成技術は、射出成型、押出成型、注型成型などの従来のプラスチック加工技術では困難であったパターンの微細化や断面形状の制御、および光デバイスの大面積化や薄型化を実現可能な加工技術であるため、OLED、無機 EL、電子ペーパーなどの新規なディスプレイに用いられる光デバイスにも広く応用できるものと考えられる。

謝辞

本論文を完遂するにあたり、終始ご懇切なご指導、ご激励、ご鞭撻を賜りました大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻　教授　藤原康文博士に謹んで感謝の意を表します。

また、本論文を纏めるにあたり、懇切なるご検討とご指導を賜りました大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻　教授　掛下知行博士、同　教授　山下弘巳博士に厚く御礼申し上げます。

本研究の遂行の機会を与えていただきました株式会社クラレ　植月正雄博士、長田司郎博士、田中善喜博士、林克彦博士、奥野健次博士に心から感謝の意を表します。

本研究の遂行と発表の機会を与えていただき、終始ご懇切なご指導を賜りましたクラレルミナス株式会社　櫛田浩一社長、副社長　吉村典昭博士、常務取締役　佐藤寿昭博士に深く感謝の意を表します。

また、本研究の遂行において、有益なご討論およびご協力をいただいた株式会社クラレ　中川順司博士､川月喜弘博士､株式会社クラレ新事業開発本部つくば研究所　渡辺陸司氏、橋本洋一氏、大西伊久雄氏、長澤敦氏、田邊裕史氏、株式会社クラレ新事業開発本部ミラブライト開発推進チーム　浜島功氏、平松慎二氏、および株式会社クラレ鹿島事業所オプト生産開発部　岡田達也氏に深く感謝致します。

常にご助言、ご配慮いただいた株式会社クラレ新事業開発本部つくば研究所およびクラレルミナス株式会社技術開発部の皆様に心から感謝致します。

本研究は以上に書ききれなかった方々を含め多くの方々のご協力、ご援助、ご鞭撻の下に完遂したものであり、ここに深く感謝の意を表します。

本論文に関する研究発表

投稿論文

1. Katsuya Fujisawa, Masao Uetsuki:
   "Grating-type Soft-Focus Filter for Improving Picture Quality of Liquid Crystal Displays",
   Jpn. J. Appl. Phys., Vol.34, Part 1, No.7A, July 1995, pp.3583-3588.

2. Katsuya Fujisawa, Masao Uetsuki, Yasuaki Nishida:
   "Grating Optical Low-Pass Filter",
   Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 35, Part 1, No.3, March 1996, pp.1768-1776.

3. Katsuya Fujisawa, Ikuo Ohnishi, Yasufumi Fujiwara:
   "Edge-Light Backlight Unit Using Optically Patterned Film",
   Jpn. J. Appl. Phys., Vol.46, No.1, January 2007, pp.194-199.

4. Katsuya Fujisawa, Ikuo Ohnishi, Yasufumi Fujiwara:
   "Edge-Light Backlight Unit Using Optically Patterned Film with Plural Light-Emitting Diodes Placed on Side as Light Source",
   Jpn. J. Appl. Phys. Vol.46, No.38, September 2007, pp.L933-L935.

国際会議発表

1. Atsushi Nagasawa, Katsuya Fujisawa:
   "An Ultra Slim Backlight System using Optical Patterned Film",
   Society for Information Display Symposium (SID '05), May 2005.

2. Atsushi Nagasawa, Katsuya Fujisawa:
"A Novel Ultra Slim Backlight System for LCD",
The 6th International Conference on Intelligent Materials and System (ICIM '05), July 2005.

3. Atsushi Nagasawa, Toshimasa Eguchi, Yasuyuki Sanai, Katsuya Fujisawa:
"A Novel Backlight System with the Unified Component",
The 12th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2005 (IDW/AD '05), December 2005.

4. Atsushi Nagasawa, Toshimasa Eguchi, Yasuyuki Sanai, Katsuya Fujisawa:
"A Slim and Bendable Backlight System Manufactured by a Roll-to-Roll Continuous Process",
The 13th International Display Workshops (IDW '06), December 2006.

その他の研究発表

1. 藤澤克也、西田泰章、藤田欣裕、植月正雄：
「プラスチック回折格子による光学的ローパスフィルタ」、
1988 年（昭和 63 年）秋季第 49 回応用物理学学術講演会、7a-ZB-8.

2. 藤澤克也、中務茂樹、渡辺陸司、市村英次郎：
「有機光学材料を用いた光学的ローパスフィルタ」、
テレビジョン学会技術報告、ITEJ Technical Report、Vol.14、No.53、IPU '90-45、September 1990、pp.7-12.

3. 藤澤克也、大西伊久雄：
「液晶ディスプレイ用回折格子フィルタの開発」、
1993 年（平成 5 年）春季第 40 回応用物理学関係連合講演会、29p-ZD-10.

4. 藤澤克也：
「プラスチック系回折格子の微細加工と応用」、
光学技術コンタクト、Vol.34、No.7、1996、pp.344-351.

5. 長澤敦、江口敏正、佐内康之、藤澤克也：
「単一部材からなる液晶ディスプレイ用バックライトシステム」、
平成 18 年度繊維学会年次大会、第 20 回オプティックスとエレクトロニクス有機材料に関するシンポジウム

6. 長澤敦、北野高広、渡辺達文、藤澤克也：
「光反応性樹脂および表面改質剤による表面自由エネルギー制御を利用した表面改質」、
Sen'i Gakkaishi, Vol.60, No.6, 2004, pp.183-187.

7. 藤澤克也：
「高分子 EL デバイス開発のための高分子薄膜の配向・凝集構造の評価」、
平成 17 年度ナノテクノロジー総合支援プロジェクトワークショップ“回折法で観る薄膜、表面のナノ構造”、2006、pp.95-99.

8. 藤澤克也：
「高分子 EL デバイス開発のための高分子薄膜の配向及び微細構造の評価」、
平成 18 年度先端大型研究施設戦略活用プログラム成果報告書、2007、pp.85-85.

9. Yuji Yoshida, Masahiro Misaki, Katsuya Fujisawa:
"Structural Study on One-dimensionally Aligned Polyfluorene Thin Films for Application of Polarized Organic Light-emitting Diode",
SPring-8 Research Frontiers 2006, July 2007, pp.145-146.