

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		本福	研究	の背景	1
	1	•	2		本	研究	の目的と意義	4
	1	•	3		本詞	論文	の構成と概要	5
1	参	考	文	献				9
第	2	章		微	細	加工	技術	10
	2	•	1		は	じめ		10
	2	•	2		光り	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
ł	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		回打	沂格	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	折机	洛子	型ソフトフォーカスフィルタ	42
	4	•	1		は	じめ		42
	4	•	2		ソ:	フト	フォーカスフィルタの機能	43
	4	•	3		回打	沂格	子型ソフトフォーカスフィルタの設計	45
	4	•	4		回打	沂格	子型ソフトフォーカスフィルタの作製プロセス	47
	4	•	5		回打	沂格	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		回打	沂格	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
			•	<u>+</u>				~ 4
-	参	考	又	,用人				54
-	参	考	又	, 肖人				54
, 第	参 5	考 章	X	.瞅 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	54 55
第	参 5 5	考 章 ·	又 1	光	学/ は	パタ じめ	ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト に	54 55 55
, 第	参 5 5 5	考 章 ・・・	又 1 2	光	学/ は 光 ^学	パタ じめ 学バ	ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト に 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	54 55 55 57
第	参 5 5 5 5 5	考 章 · · ·	又 1 2 3	.瞅	学は光導	パタ じめ 学 光型	ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト に ダーン形成フィルムを用いた導光型バックライトの構造 バックライト向け光学パターンの設計	54 55 55 57 59
第	参 5 5 5 5	考 章 · · · 5	又 1 2 3	·瞅 光 3	学は光導・	パタ じ 学 光 1	ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト に 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 バックライト向け光学パターンの設計 視野角依存性	54 55 57 59 59
" 第	参 5555	考 章 · · · 5 5	又 1 2 3	·瞅 光 3 3	学 は 光 導 ・ ・	パタ じ 学 光 1 2	ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト に 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 バックライト向け光学パターンの設計 視野角依存性 面内輝度分布	54 55 57 59 59 62
。 第	参 55555	考 章 · · · 5 5 ·	又 1 2 3 、 4	·瞅 光 3 3	学 は 光 導 ・ ・ 導	パ じ 学 光 1 2 光夕 め パ 型	ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト に 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 バックライト向け光学パターンの設計 視野角依存性 面内輝度分布 バックライトの作製プロセス	54 55 57 59 59 62 64
第	参 5555555	考 章 · · · 5 5 · ·	又 1 2 3 4 5	·瞅 光 3 3	学 は 光 導 ・ ・ 導 光	パじ学光12光学のパ型 型パ	ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト に 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 バックライト向け光学パターンの設計 視野角依存性 面内輝度分布 バックライトの作製プロセス ターンの形状	54 55 57 59 59 62 64 64
第	参 5555 555	考 章・・・55・・・・	又 1 2 3 · 4 5 6	·瞅 光 3 3	学は光導・・導光導	パじ学光12光学光夕めパ型 型パ型	ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト に 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 バックライト向け光学パターンの設計 視野角依存性 面内輝度分布 バックライトの作製プロセス ターンの形状 バックライトの光学性能	54 55 57 59 62 64 64 65
第	参 55555555	考 章・・・55・・・5	又 123··456·	·₩A 3 3 6	学 は 光 導 ・ ・ 導 光 導 ・	パじ学光12光学光1夕めパ型 型パ型	 ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト 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 バックライト向け光学パターンの設計 視野角依存性 面内輝度分布 バックライトの作製プロセス ターンの形状 バックライトの光学性能 視野角依存性 視野角依存性 	54 55 57 59 62 64 64 65 66
 第	参 55555555	考 章 ・・・5 5 ・・・5 5	又 123・456・・	形 光 3 3 6 6	学 は 光 導 ・ ・ 導 光 導 ・ ・	パじ学光12光学光12夕めパ型 型パ型	ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト に 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 バックライト向け光学パターンの設計 視野角依存性 面内輝度分布 バックライトの作製プロセス ターンの形状 バックライトの光学性能 視野角依存性 面内輝度分布	54 55 57 59 62 64 64 65 66 68
 第	参 5555555	考 章 · · · 5 5 · · · 5 5 5	又 123・・456・・・	米 光 3 3 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6	学 は 光 導 ・ ・ 導 光 導 ・ ・ ・	パじ学光12光学光123夕めパ型 型パ型	ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト に 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 バックライト向け光学パターンの設計 視野角依存性 面内輝度分布 バックライトの作製プロセス ターンの形状 バックライトの光学性能 視野角依存性 面内輝度分布	54 55 57 59 62 64 64 65 66 68 69
 第	参 5555 555 5	考 章 · · · 5 5 · · · 5 5 5 ·	又 1 2 3 · · 4 5 6 · · · 7	NN 光 3 3 6 6 6	学 は 光 導 ・ ・ 導 光 導 ・ ・ ま	パじ学光12光学光123と夕めパ型 型パ型 め	ーン形成フィルムを用いた導光型バックライト に 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 バックライト向け光学パターンの設計 視野角依存性 面内輝度分布 バックライトの作製プロセス ターンの形状 バックライトの光学性能 視野角依存性 面内輝度分布 光取出し効率	54 55 57 59 62 64 64 65 66 68 69 70

第 6	章	-	L	E D 光	源を用いた薄型バックライト	73
6		1		はじめ	って	73
6		2		薄型ハ	ックライト向け光学パターンの設計	75
6		3		薄型ハ	ックライトの作製プロセス	76
6		4		光学ハ	ペターンの形状	77
6		5		薄型ハ	、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	<u>.</u>		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
★ ÷≏	· + -		B E	,	「穷惑主	05

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
РММА	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¹¹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 - 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。

	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

表1.1 プラスチック材料の特性と応用例

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	加工面積	広田例
金型	成型	(µm)	(cm)	נילו דר טיו
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
干涉露光	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。



図1.2 本論文の構成

- 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、3.33×10⁻³wt.%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/cm²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エプロセス

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 Dおよび屈折率の変 化量 Nを図2.4に示している。 Dと Nは式(2.1)および式(2.2)で定義され、 Daと Naは露光部の膜厚と屈折率、および Dbと Nb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、0.02 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亞合成製 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。



光学パターン形成フィルム

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80×60mm²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。



Coater Photocurable resin

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 300×300mm²、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。

- 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、 $X = F_x/2$ および $Y = F_y/2$ 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 工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 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 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、SiO2 膜(膜厚 /4)、TiO2 膜(膜厚 /2)、SiO2 膜(膜厚 /4)の3層構造とした。ここで、 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 7.9×5.4mm²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 -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3.1 3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。

$$AR(N) = \frac{(N)TV$$
本の矩形波に対する振幅応答
直流に近い矩形波に対する振幅応答
(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 gを式(3.3)のようにカラーフィルタのア レイ周期 (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 . 1 4 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 . 1 5 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 _gが CCD の画素周期 _cやカラーフィルタのアレイ周期 _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 _mは、式(3.4)のような関係になる。

$$\frac{1}{\Lambda_m} = \left| \frac{n}{\Lambda} - \frac{1}{\Lambda_g} \right| \quad (n: \mathbb{E} \mathcal{O} 整数)^{18}$$
(3.4)

ここで、 は、CCDの画素周期 *。*あるいはカラーフィルタのアレイ周期 *f*を表して いる。式(3.4)から、 *m*は、 *g*/ =2/(2*k*+1)のとき最小になり、 *g*/ =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 *c*max、 *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 _gを式(3.5)のように設計すると、Type C の関係が得られ、 cmax、 (max とも無限大になる。

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

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。

- 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プ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 とすると、断面形状が正弦波状の回折格子の 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 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 は式(4.1)で与えられる。

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

ここで、 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 は式(4.2)のようになる。

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

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の値に影響され、が絵素の周期より小さい場合、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、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)

												ł
Diffraction	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	
order											0.0	l
-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	

(a)

(h)
	D)

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。



(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 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 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 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159×92mm²、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 リ、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159×92mm²、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、 方向は5°間隔で-80から80°まで、また 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。



Backlight unit

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。

- 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)



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 34×48mm² 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 35×50mm² 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	Component	Thickness
	(mm)		(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。

2	4200.0000
	3678. 4000
	3156, 8000
	2635. 2001
	2113.6001
	1592.0001
100 million (100 m	1070. 4001
	548.8002
and the second se	27. 2002

(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)



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。

Run	Refractive index of photocurable resin	Particle size (µm)	nD
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

表6.2 拡散材を添加した光硬化性樹脂の組成

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 *Qsca* は、 光拡散材と光拡散材を添加した材料との屈折率差 *n*、光拡散材の粒径 *D*、および入 射光の波長 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 (*nD*)に関係する。しかし、 *nD* がほぼ 0.34 の場合は、各波長の *Qsca* 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。 *nD* 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、 *nD* 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)



図 6 . 9 *nD* 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、 nD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 リ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 80×60mm² 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。

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

表6.3 超薄型バックライトの構成

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。

- 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.
- 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 300×300mm²、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

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

 Atsushi Nagasawa, <u>Katsuya Fujisawa</u>:
 "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.

- Atsushi Nagasawa, Toshimasa Eguchi, Yasuyuki Sanai, <u>Katsuya Fujisawa</u>:
 "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, <u>Katsuya Fujisawa</u>:
 "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.
- <u>藤澤克也</u>、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. <u>藤澤克也</u>、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. <u>藤澤克也</u>:

「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. <u>藤澤克也</u>:

「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.