

回折格子のフロントライト光学系への応用

大 森 滋 人*

(財)大阪科学技術センター地域 COE 推進室 〒594-1157 和泉市あゆみ野 2-7-1 大阪府立産業技術総合研究所内先端光ファクトリー

*現所属：コニカミノルタテクノロジーセンター(株) 〒569-8503 高槻市桜町 1-2

Application of Grating for Front-Light System

Shigeto OMORI*

Osaka Science and Technology Center, 2-7-1 Ayumino, Izumi 594-1157

*Present affiliation: Konica Minolta Technology Center, Inc., 1-2, Sakuracho, Takatsuki 569-8503

Since reflective liquid crystal displays (RLCD) have several advantages such as low power consumption and high visibility, they are widely used for displays of portable information terminals. An auxiliary illumination system is necessary when an RLCD is used in a dark environment. Front-light illumination devices with many small reflection prisms on the front surface have been proposed. However, these devices require a protection panel avoiding the front surface of the device being touched, which make the illumination system relatively thick. We have developed a thin illumination device for front-light systems employing gratings. We have calculated the optimum grating structure with suitable scattering profile and low noise over a wide wavelength range. We have fabricated a thin light guide device with gratings for a front-light system and characterized its performances.

Key words: Bragg reflection, diffraction efficiency, front-light, illumination, interference fringes

1. はじめに

反射型液晶は屋外での視認性・低消費電力の点から携帯情報端末への用途に適するが、暗い環境での補助照明装置(フロントライト)が課題であった。従来、液晶板を被う薄板表面の微小反射プリズムによる照明が行われているが^{1,2)}、反射プリズムの接触破損に対する保護板が必要となるため薄型化が課題であった (Fig. 1 参照)。

本研究では、回折格子を応用することによって、薄型フロントライトを実現することを目的とする。課題は、広い波長範囲(白色光)にわたって、不要回折光による損失・雑音を抑制することである。はじめに、導光を取り出す回折格子の周期条件、必要回折光に光量集中する形状条件、および白色光で不要回折光を抑制するための構成条件について考察する。次に、フロントライト用途の回折格子および導光板を設計し、試作により効果および応用可能性を確認した。

2. 導光を取り出す回折格子の理論

2.1 導光を取り出す周期条件

全反射を繰り返しながら薄板中を進む光を取り出すための回折格子の周期条件について考える。はじめに回折の式を用いて-1次の回折光が発生する回折格子周期範囲を得、次にベクトル理論を用いた厳密解法(RCWA)により周期に対する回折効率を得る。

屈折率 n と n' の両媒質の境界面に周期 Λ の回折格子があるとき、波長 λ の光が n 側から境界面に角度 θ で入射し、回折作用により n' 側へ角度 θ' で出射する条件は式(1)となる (Fig. 2 (a) 参照)。

$$n' \sin \theta' = n \sin \theta + m \frac{\lambda}{\Lambda} \quad (1)$$

ここで、 m は透過回折光の回折次数である。また、全反射の次条件であるとする。

$$n \sin \theta > n' \quad (2)$$

式(1)左辺が解をもつための条件は次式となる。

E-mail: shigeto.omori@konicaminolta.jp

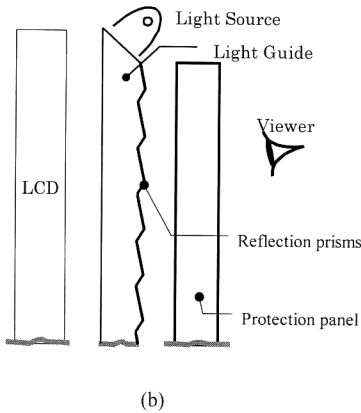
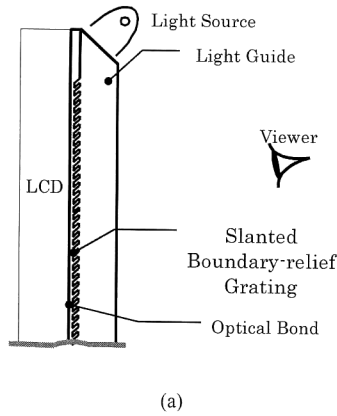


Fig. 1 Schematics of a front-light system with (a) a grating and (b) prisms.

$$-n' - n \sin \theta \leq m \frac{\lambda}{\Lambda} \leq n' - n \sin \theta < 0 \quad (3)$$

λ , Λ が正数であるため $m < 0$. したがって次式である.

$$\frac{n' - n \sin \theta}{m} \leq \frac{\lambda}{\Lambda} \leq \frac{-n' - n \sin \theta}{m} \quad (4)$$

与式の $m = -1$ と $m = -2$ について, それぞれ周期範囲を吟味すると, -1 次透過回折光は発生するが -2 次透過回折光は発生しない範囲は次式である.

$$\frac{1}{2}(n' + n \sin \theta) < \frac{\lambda}{\Lambda} \leq n' + n \sin \theta \quad (5)$$

同一格子の反射回折光について, 回折の式は (Fig. 2 (b) 参照)

$$n \sin \theta^* = n \sin \theta + m^* \frac{\lambda}{\Lambda} \quad (6)$$

ここで, m^* は反射回折光の回折次数である. 式 (5) 条件において式 (6) 左辺が解をもつためには, $m^* < 0$ であることが必要であり, 周期範囲は次式である.

$$\frac{n - n \sin \theta}{m^*} \leq \frac{\lambda}{\Lambda} \leq \frac{-n - n \sin \theta}{m^*} \quad (7)$$

与式の $m^* = -1, -2$ について周期範囲を吟味すると, -1 次反射回折光は発生するが -2 次反射回折光は発生し

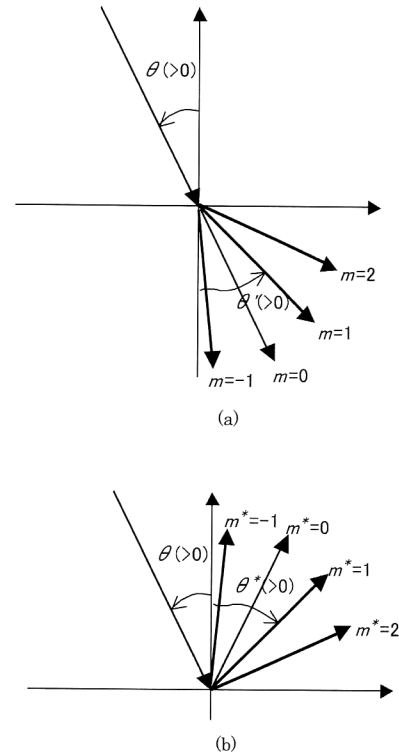


Fig. 2 The grating equation in (a) a transmission grating and (b) a reflection grating.

ない範囲は次式となる.

$$\frac{1}{2}(n + n \sin \theta) < \frac{\lambda}{\Lambda} \leq n + n \sin \theta \quad (8)$$

$n' \geq 1$, n が 1.5 程度の場合, 式 (5) と式 (8) について吟味すると, -2 次回折光は発生せず, -1 次透過回折光および -1 次反射回折光が発生する条件は次式である.

$$\frac{1}{2}(n + n \sin \theta) < \frac{\lambda}{\Lambda} \leq n' + n \sin \theta \quad (9)$$

ここで, $n = 1.5$, $n' = 1$, $\theta = 50^\circ$ の場合, 式 (9) より Λ/λ は 0.47~0.76 の範囲にある.

次に, 格子高さ $h/\Lambda = 1$ の矩形形状回折格子の回折効率 η を RCWA により計算した. 結果を Fig. 3 に示す. 式 (9) 範囲内で, -1 次反射回折光および -1 次透過回折光の発生が確認される. また, p 偏光に比べ s 偏光の回折光発生が大である. 以降, 各項目の RCWA は s 偏光についての計算である.

2.2 透過回折光に光量集中する形状条件

液晶などの表示物の前面を被う薄板中を, 全反射を繰り返しながら進む光を取り出して表示物を照明するためには, 照明するための光と次の個所を照らすための導光が必要となる. 薄板表示物側に設けた回折格子により照明を行う場合は, -1 次透過回折光で照明し, 正反射光が導光と

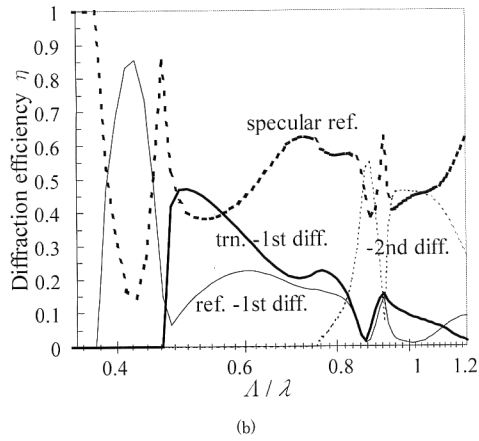
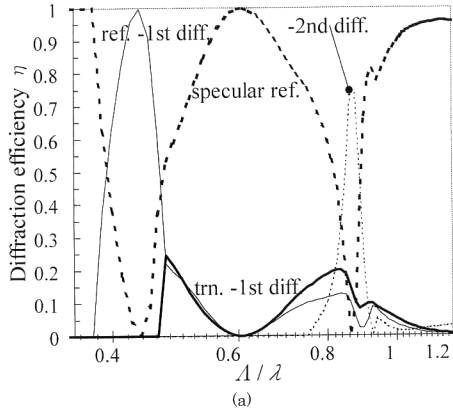


Fig. 3 Diffraction efficiency η vs. the ratio of grating period to wavelength. $h/\Lambda=1$, $n=1.5$, $n'=1$, $\theta=50^\circ$. (a) p polarization and (b) s polarization (ref: reflection, trn: transmission, diff: diffraction).

なる。したがって、それら以外の光は損失・雑音となるためないことが望ましいが、式(9)条件は-1次透過回折光および-1次反射回折光の両方が発生する。ここでは、式(9)の周期条件の回折格子についてブラッグ反射³⁻⁶⁾としたとき、透過回折光を発生させる回折格子の形状要件、特に格子立ち壁の斜度についての指針を得る。次に、RCWAにより指針を検証する。

Fig. 4に示すように、厚さ h の回折格子部分を屈折率 n_2 ($n=n_3 < n_2 < n'=n_1$) の層と考えると、-1次透過回折光が発生する場合、各層において次式が成り立つ。

$$1 \text{ 層目: } n_2 \sin \theta_1' - n_1 \sin \theta_1 = 0 \quad (10)$$

$$2 \text{ 層目: } n_2 \sin \theta_2' - n_2 \sin \theta_2 = -\frac{\lambda}{\Lambda} \quad (11)$$

$$3 \text{ 層目: } n_3 \sin \theta_3' - n_2 \sin \theta_3 = 0 \quad (12)$$

特に2層目について書き直すと、

$$\sin \theta_2' - \sin \theta_2 = -\frac{\lambda}{n_2 \Lambda} \quad (13)$$

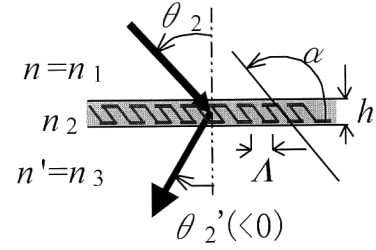


Fig. 4 Configuration of a grating.

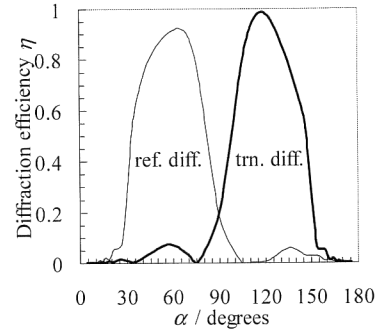


Fig. 5 Diffraction efficiency vs. inclined angle α of the grating facets. $\Lambda/\lambda=0.7$, $h/\Lambda=1$, $n=1.5$, $n'=1$, $\theta=50^\circ$.

である。回折格子の立ち壁によるブラッグ反射と仮定すると、立ち壁と基板面とのなす角度を式(14) α とし、式(13)に代入すると、式(15)を得る。

$$\alpha = \frac{\theta_2 + \theta_2' + \pi}{2} \quad (\theta_2' \text{ を } -Y \text{ 軸から反時計回りを正}) \quad (14)$$

$$\sin \alpha \cos(\alpha - \theta_2') = -\frac{\lambda}{2 \cdot n_2 \cdot \Lambda} \quad (15)$$

同様に-1次反射回折光について考えると、

$$1 \text{ 層目: } n_2 \sin \theta_1' - n_1 \sin \theta_1 = 0 \quad (16)$$

$$2 \text{ 層目: } n_2 \sin \theta_2^{*'} - n_2 \sin \theta_2 = -\frac{\lambda}{\Lambda} \quad (17)$$

となり、次式が得られる。

$$\alpha = \frac{\theta_2 - \theta_2^{*'}}{2} \quad (\theta_2^{*'} \text{ を } Y \text{ 軸から時計回りを正}) \quad (18)$$

$$\sin \alpha \cos(\alpha + \theta_2^{*'}) = \frac{\lambda}{2 \cdot n_2 \cdot \Lambda} \quad (19)$$

$$n_2 = \sqrt{\frac{n_1^2 + n_3^2}{2}} \quad (20)$$

n_2 を式(20)とし、 $n_1=1.5$, $n_3=1$, $\Lambda/\lambda=0.7$, $\theta_1=50^\circ$ のとき、式(14)~(19)を用いて α を計算すると、透過回折光に対しては 115.8° 、反射回折光に対しては 38.5° となる。

次に、先の α 値算出の格子条件に加え、格子高さ $h/\Lambda=$

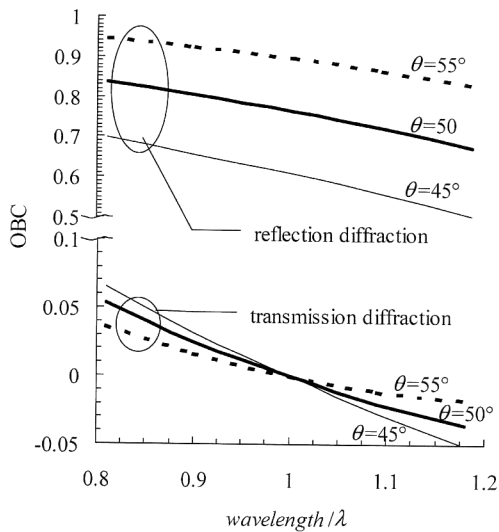


Fig. 6 Offence against the Bragg condition vs. normalized wavelength ratio.

1の場合、任意の立ち壁の角度 α である矩形もしくは斜め格子に波長 λ の光が入射するときの回折効率を、RCWAにより計算した。その結果を Fig. 5 に示す。特に、透過回折光についてブラッグ反射と仮定して算出した α は、RCWAによる回折効率最大となる α 値近傍であり、ブラッグ反射モデルは現象をイメージするのに有効であると考える。

2.3 白色光に対して不要回折光発生を抑制する条件

液晶などの表示物は、大半がカラーであるため、それらを照明する光も白色光もしくは赤、緑、青の三原色を含む。したがって、白色光に対して不要回折光が発生しないことが必要である。ここでは、ブラッグ反射と仮定して要件についての指針を得、次に RCWA により指針の検証を行う。

周期 A の回折格子に対して、波長 λ 、入射角度 θ_2 の光のとき式 (13) であり、回折格子の立ち壁角度は透過回折光について式 (15) を満たすとする。

また、波長 $\lambda + \Delta\lambda$ の光のとき、式 (13) より、回折角度は以下であるとする。

$$\sin(\theta_2' + \Delta\theta_2') - \sin \theta_2 = -\frac{\lambda + \Delta\lambda}{n_2 A} \quad (21)$$

式 (15) で決まる α と式 (21) の波長 $\lambda + \Delta\lambda$ の光について、式 (15) を書き直すと、次式となる。

$$\text{OBC} = \sin \alpha \cos(\alpha - (\theta_2' + \Delta\theta_2')) + \frac{\lambda + \Delta\lambda}{2 \cdot n_2 \cdot A} \quad (22)$$

同様に、反射回折光については式 (17) を満たすとする、次式である。

$$\text{OBC} = \sin \alpha \cos(\alpha + (\theta_2^* + \Delta\theta_2^*)) - \frac{\lambda + \Delta\lambda}{2 \cdot n_2 \cdot A} \quad (23)$$

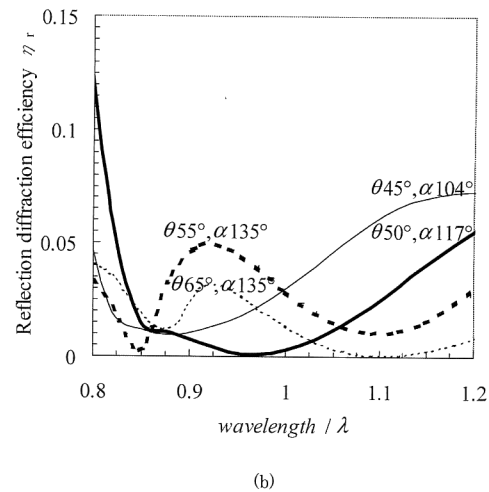
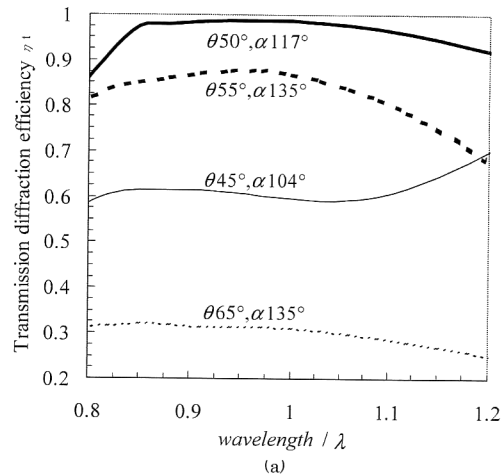


Fig. 7 Diffraction efficiency vs. normalized wavelength. (a) Transmissive diffraction and (b) reflective diffraction.

これは、任意波長の光についてブラッグ反射条件となる立ち壁角度に対する、異なる条件の光について回折角度から決まるブラッグ反射条件との格差を表し、値がゼロに近づくほど両者の格差が縮小するため回折光の発生が増大傾向にあり、逆に値が大きくなるほど両者の格差が拡大するため回折光の発生が減少傾向にある。式 (22), (23) の値を、形状条件不整合量 (offence against the Bragg condition: OBC) と呼ぶこととする。 n_2 を式 (20) とし、 $n_1 = 1.5$, $n_3 = 1$, $A/\lambda = 0.7$, $\Delta\lambda/\lambda = 0$ においてブラッグ反射条件を満たす回折格子形状について、波長幅 $\pm\Delta\lambda/\lambda = \pm 0.18$ の透過および反射回折光それぞれに対する OBC を計算した。ただし、 n_1, n_3 値、式 (20) である場合、Fig. 4 の 1 層目で全反射が発生しないためには θ 範囲は 58.2° 以内である。計算結果を Fig. 6 に示す。入射角度増大につれて、透過回折光の $\Delta\lambda/\lambda \neq 0$ における OBC は小さくなる。一方、入射角度増大につれて、反射回折光の OBC は大きくなる。したがって、Fig. 6 より、入射角度を大きくすると、

広い波長にわたって透過回折光量がより大きく、反射回折光量はより小さくなることが期待される。

次に、 $n=1.5$, $n'=1$, $\Lambda/\lambda=0.7$, $h/\Lambda=1$ の格子について、RCWA を用いて波長と回折効率の関係を計算した。波長 λ での透過回折効率が最良となる α を用いた。結果を Fig. 7 に示す。入射角度増加に対して、反射回折効率の各波長比における増減はさまざまであるが、波長平均すると、やや減少傾向である。透過回折効率については、各波長比について入射角度 50° まで透過回折率は増加し、以降は減少する。入射角度 50° を超える場合の透過回折光については、Fig. 6 の入射角度に対する OBC の関係から、期待される透過回折率傾向と一致しないことがわかった。

そこで、入射角度が大きい場合でも波長 λ で透過回折率が大きくなる条件を探索したところ、透過回折光射出側の屈折率 n' が 1 以上、すなわち境界面に回折格子を有する場合に可能性があることを見出した。Fig. 8 に RCWA の結果を示す。計算条件は $\Lambda/\lambda=0.7$, $h/\Lambda=1$, $\alpha=135^\circ$, $\theta=65^\circ$, $n=1.5$ 。射出側屈折率 n' は 1 または 1.3 である。回折格子の構成を境界面型とすることで屈折率 n' を大きくし、入射角度が大きいときでも透過回折率は大きい。一方、反射回折率は小さくなり、広い波長にわたって透過回折光に光量を集中することが可能であることを確認した。

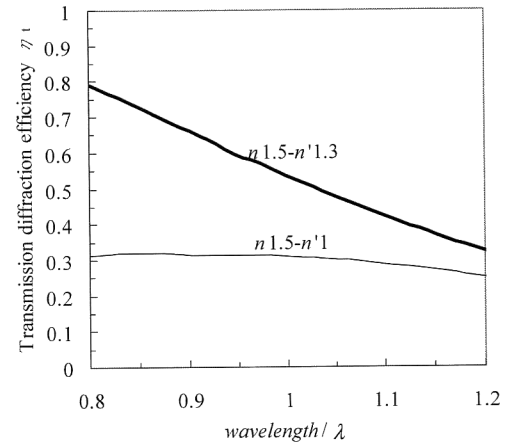
3. フロントライト用回折格子の設計

表示物の前面に透明な導光板がある場合、導光板から直接観察者に達する光は雑音となり、表示コントラストの低下を招く。表示物単体でのコントラストを C 、表示物の反射率を R 、導光板表面からの照明光量を η_i 、導光板から観察者への直接光量を η_r とすると、表示時の光量は $\eta_r R + \eta_i$ 、非表示時の光量は $\eta_i R/C + \eta_i$ となるため、導光板を用いたときのコントラストは次式で与えられる。

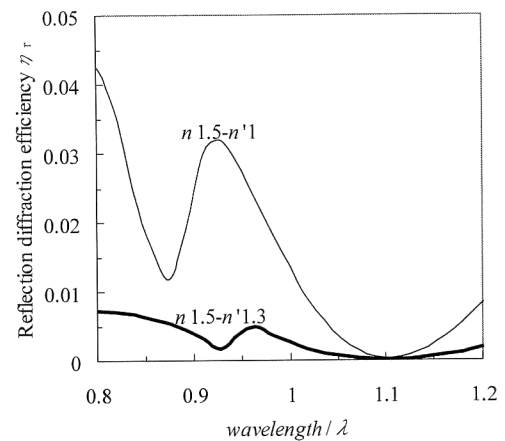
$$\frac{\eta_r R + \eta_i}{\eta_i R/C + \eta_i} = \frac{R + \eta_r/\eta_i}{R/C + \eta_r/\eta_i} \quad (24)$$

Fig. 9 に、表示物単体のコントラストを 30、反射率を 0.3 としたときの雑音比 η_r/η_i と、導光板付き表示物のコントラストとの関係を示す。一般に「良好な表示品質」といわれるコントラストは 10 以上（新聞で 8 程度）であることより、雑音比 0.02 以下になることを設計目標とした。

次に、回折格子を用いた場合について考える。導光板は平板構造体であり表示物と平行に配置されているとすると、照明光となる透過回折光が表示物により正反射されて出射する角度は、Fig. 4 の座標のとり方に従うと、



(a)



(b)

Fig. 8 Diffraction efficiency vs. normalized wavelength. (a) Transmissive diffraction and (b) reflective diffraction.

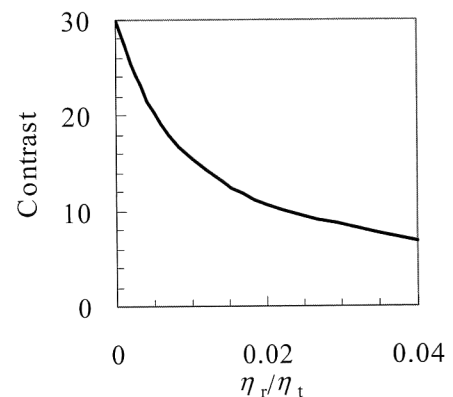


Fig. 9 The η_r/η_i vs. contrast ratio.

$$-\pi - \sin^{-1}(n \sin \theta - \lambda/\Lambda) \quad (25)$$

であり、反射回折光が導光板より出射する角度は、

$$-\pi - \sin^{-1}(n \sin \theta - \lambda/\Lambda) \quad (26)$$

Table 1 Specification of the designed gratings.

	1st medium index	2nd medium index	Λ (nm)	h/Λ	α (°)	θ (°)
Boundary-relief grating	1.5	1.3	356	0.5	136	65
Surface-relief grating	1.5	air	400	1	117	50

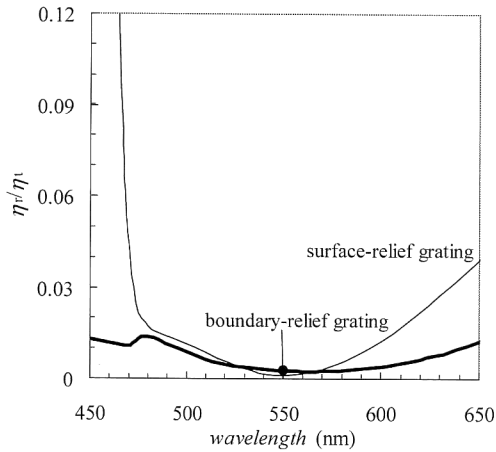


Fig. 10 The η_r/η_t vs. wavelength about the designed gratings.

である。式 (25) と (26) より、照明光と反射回折光は同じ方向に出射されることがわかる。したがって、回折格子による照明時のコントラストは、反射回折効率を η_r と透過回折効率を η_t とした式 (24) となる。

2章で、斜め格子を用いれば透過回折光に光量集中が可能であること、および境界面に回折格子を設けることで白色光対応の可能性があることがわかった。ここでは、表面型斜め格子と境界面型斜め格子とを比較することで、境界面構成の効果を把握する。Table 1 に表面型および境界面型斜め格子の仕様を示し、Fig. 10 に RCWA を用いて計算した波長と雑音比との関係を示す。Fig. 10 より、表面型は青 470 nm 以下および赤 620 nm 以上で雑音比が悪化するが、境界面型では青 450 nm～赤 650 nm まで雑音比が 0.02 以下に抑えられるため、Fig. 8 より、広い波長範囲にわたって表示コントラストは 10 以上が得られることが期待される。

4. 作製・評価

KrF 線用レジストを二光束干渉法で露光することにより、回折格子の作製を行った。作製に使用した光学系の概略を Fig. 11 (a) に示す。格子形状を斜めとするため、レジストを塗布した基板は、二光束の二等分線に対して所定角度 α' だけ傾けて設定した。なお、2章2節の α は露光波長でのレジスト屈折率を n (波長 266 nm において $n=1.8$)、二光束の干渉角度を 2θ とすると次の関係である。

Table 2 Specification of the fabricated gratings.

Profile	Λ (nm)	α' (°)	1st medium index	2nd medium index
Slant	356 nm	44	1.56	1.33
Unslant	350 nm	0	1.56	1.33

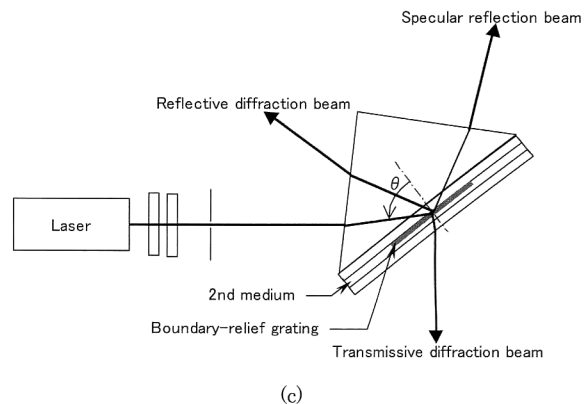
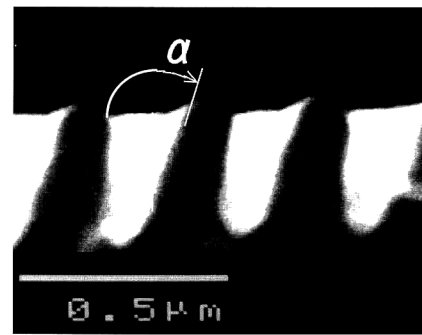
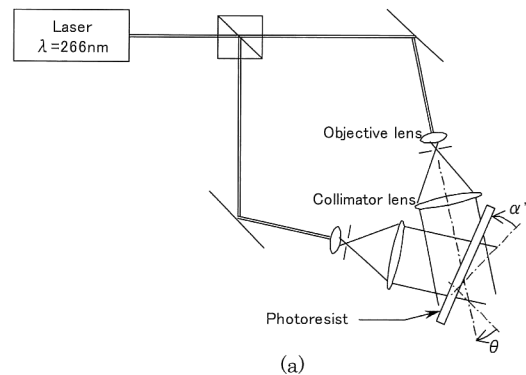


Fig. 11 Experiments. (a) Fabrication setup, (b) cross-sectional view of the grating and (c) measurement setup.

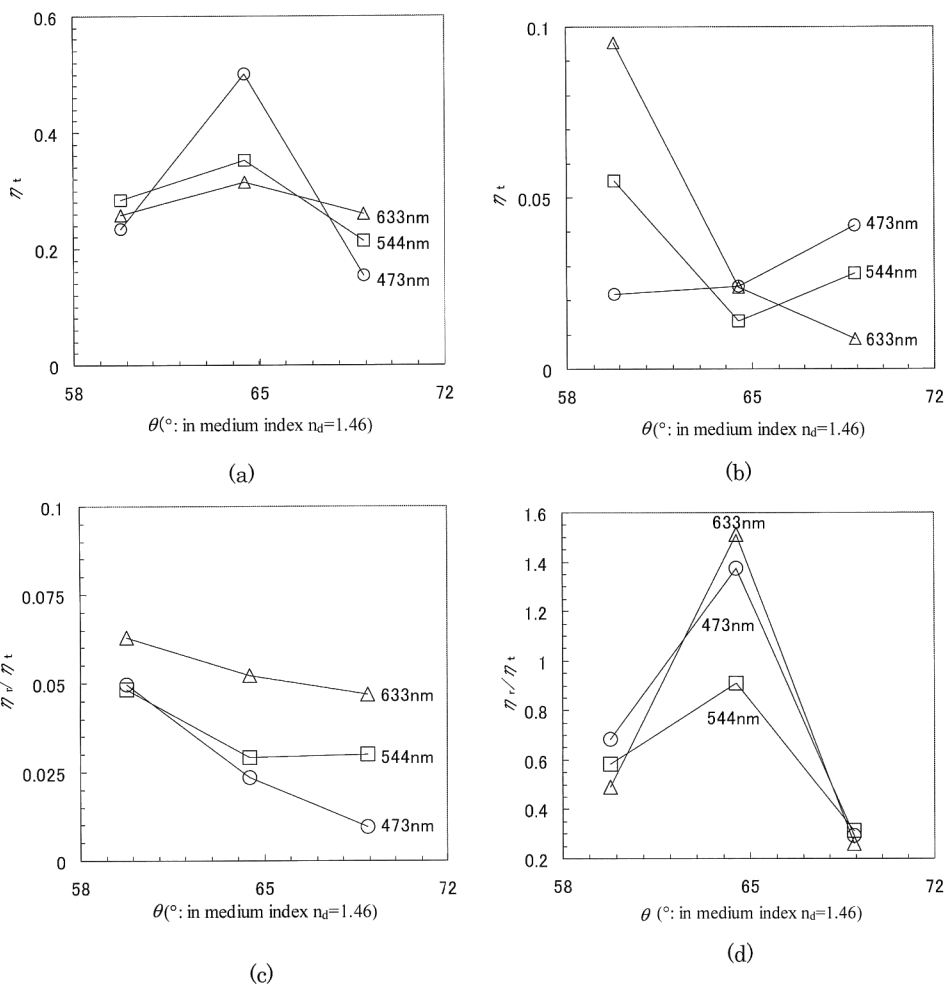


Fig. 12 Experimental results. (a) Transmissive diffraction efficiency η_t vs. incident angle θ about slant grating, (b) η_t vs θ about perpendicular grating, (c) reflective η_r to transmissive diffraction efficiency η_t ratio vs. θ about slant grating and (d) η_r/η_t vs. θ about perpendicular grating.

$$\alpha = \frac{1}{2} \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{1}{n} \sin(\alpha' + \theta) \right) + \sin^{-1} \left(\frac{1}{n} \sin(\alpha' - \theta) \right) \right\} + 90^\circ \quad (27)$$

このとき作製される格子の周期は斜め格子であることを考慮して、基板に平行な方向の周期は次式となる。

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2 \sin \theta \cos \alpha'} \quad (28)$$

Fig. 11 (b) に、基板を 30° 傾けて作製した斜め格子の電子顕微鏡写真を示す。格子の立ち壁が 15° 程度傾いていることがわかる。この光学系を用いて、Table 2 に示す回折格子を作製した。回折格子は、第 1 媒質を露光現象後のレジスト、第 2 媒質を水で構成した。

Fig. 11 (c) には、回折効率を測定するための光学系を示す。回折効率の測定においては、臨界角を超える角度で回折格子に入射するため、基板裏面側にコンタクト液を用いて貼りつけたプリズムを介して照射した。また、測定光源

は 473, 544 および 633 nm のレーザーを用いた。s 偏光での透過回折効率の測定結果を Fig. 12 (a), (b) に、雑音比の測定結果を Fig. 12 (c), (d) に示す。

Fig. 12 (a), (b) より、斜め格子は矩形格子に比較して、透過回折効率が大きい。Fig. 12 (c), (d) より、斜め格子は矩形格子に比較して、青、緑、赤で雑音比が低く、雑音が大幅に抑制されることが確認された。

次に、境界面型斜め格子を用いて、フロントライト照明用の導光板を作製した。一様照明の導光板を得るための方法を説明する。厚さ t 、長さ L の導光板において、表示物側表面には照明用の回折格子が設けられているとする。導光板中を全反射を繰り返しながら進む光が j 回目に入射した回折格子について、回折格子への入射光量を I_j 、回折されることによって表示物へ射出される照明光量を T_j 、正反射される光量を I_{j+1} 、他への損失がないとすると、以下の関係になる。

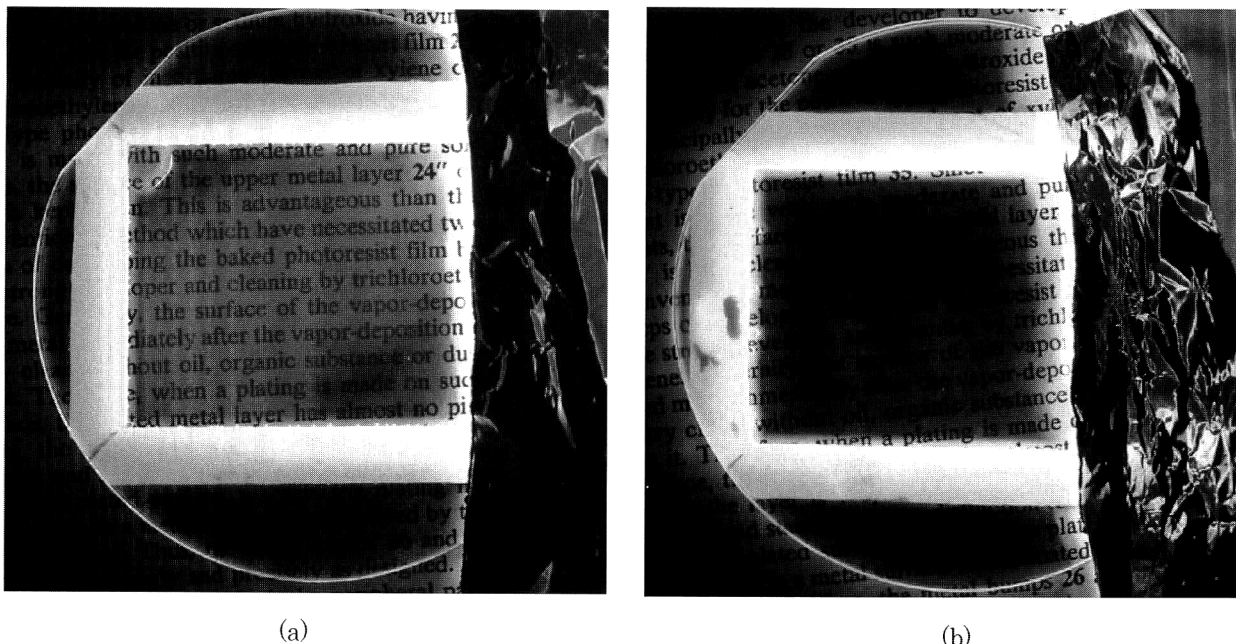


Fig. 13 The illumination by front-lights (a) with the grating and (b) without the grating.

$$I_j = I_{j+1} + T_j \quad (29)$$

一様照明であるためには、照明光は j に関係なく一定となるので次式である。また、簡単のため、1 回目の入射光量 I_1 を総光量 1 とおく。

$$I_j = I_1 - \sum_{k=1}^{j-1} T_k = 1 - (j-1) T_1 \quad (30)$$

よって、照明比は

$$\frac{T_j}{I_j} = \frac{T_1}{1 - (j-1) T_1} \quad (31)$$

で与えられる。一方、照明比は、回折効率 η と導光板上に回折格子が存在する面積割合 s との積となる。

$$\frac{T}{I} = \eta s \quad (32)$$

回折効率を一定として面積割合を変化することで照明比を変化させる場合、照明用導光板終端 L ($j=N$) で面積割合 $s=1$ として、終端における照明比は次式で与えられる。

$$\frac{T_N}{I_N} = \frac{T_1}{1 - (N-1) T_1} = \eta \quad (33)$$

j 回目に入射した回折格子位置を任意場所 x とすると、

$$x = (j-1) 2t \tan \theta \quad (34)$$

で表され、そこでの回折格子面積割合は、式 (31)~(34) より次式となる。

$$s(x) = \frac{1}{\left\{ 1 + \frac{\eta L}{2t \tan \theta} \left(1 - \frac{x}{L} \right) \right\}} \quad (35)$$

照明用導光板は、35 mm×50 mm の大きさ、板厚 $t=1$ mm、p 偏光ならびに s 偏光について平均した回折効率を

$\eta=10\%$ として、回折格子面積割合が導光板の 50 mm の方向に式 (35) となるような開口を有するメタルマスクを作製した。このメタルマスクを介して二光束干渉露光を行うことで、開口部分のみに回折格子を作製し、一様照明が得られるように回折格子面積割合を調整した。露光現象後、回折格子面側に（液晶板を想定した）ガラス板を張り合わせた後、隙間に水を封入した。また、回折格子を有するガラス板側には、照明光を導入するためのプリズムを貼りつけた。試作品で印刷原稿を照明した結果を Fig. 13 に示す。照明光源には白色ダイオードを用い、画面右側より入射した。白い縁取り内が照明用導光板である。一部露光ムラによる格子形状誤差が発生したため陰っているが、他部分は導光板長手方向に一様な照明が得られた。また、やや反射回折光によるフレアーが認められるものの、ほぼ良好なコントラストの表示が得られた。より露光条件を追い込むことで、露光ムラならびに明るさの改善が可能であると考えられる。観察位置を正面から右方へ移動するにつれて、回折格子の色分散により青、緑、赤と色合いが変化することが確認された。

5. 光利用効率について

ここでは、光源光が導光板に入射してから表示物を照明するまでの光の利用効率について、定量的に考える。反射回折光などの不要回折光量は無視できるぐらい少ないとすると、導光板の光利用効率 E は式 (33), (34) から次式で与えられる。

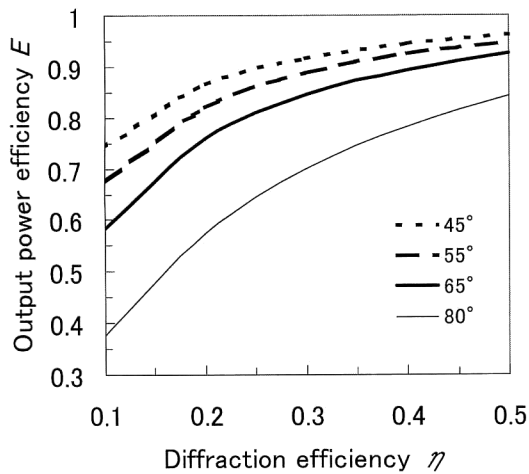


Fig. 14 Output power efficiency vs. diffraction efficiency at $L/t=50$.

$$E = NT_1 = \eta \frac{\tan \theta + \frac{L}{2t}}{\tan \theta + \frac{\eta L}{2t}} \quad (36)$$

$L/t=50$ での任意入射角度 θ について、回折効率 η と光利用効率 E の関係を Fig. 14 に示す。本回折格子の理論値に相当する、p, s 偏光および波長についての平均的回折効率が 0.25 (Fig. 8 参照)、入射角度が 65° であれば、光利用効率 0.8 程度が得られると予測される。

6. ま と め

筆者らは、フロントライト光学系用導光板に用いる回折格子について、導光を取り出すための周期条件、透過回折光に光量を集中させるための形状条件、および白色光に対して不要回折光発生を抑制するための構成条件について理論的な解析を行い、実験により実証した。また、本回折格

子を備えたフロントライト光学系用導光板を試作し、機能確認を行った。本方式を用いたフロントライト光学系では、従来の反射プリズム方式に対し、保護板が不要になるために薄型化が可能である。また、回折格子を構成する第 2 媒質により、回折格子面と液晶板面での表面反射が抑えられるため、従来必要であった反射防止処理が不要となる。今後は、得られた理論に基づき、光通信・光接続への応用を検討する。また、それら特性を最大限に利用し、かつ成形による複製が容易な形状・構成についても検討する。

最後に、有益なご示唆を与えてくださった一岡芳樹先生ならびに大阪府立大学菊田久雄先生に感謝する。本研究は、科学技術振興事業団地域結集型共同研究事業の一環として行われた。

文 献

- 1) K. A. Epstein and R. P. Wenz: U. S. Patent No. 5608550 (1996).
- 2) H. J. Cornelissen, M. J. J. Dona and H. Greiner: "Frontlights for reflective LCDs based on lightguides with microgrooves," SID Symp., **30** (1999) 912-915.
- 3) S. T. Peng and T. Tamir: "Effects of groove profile on the performance of dielectric grating couplers," *Proc. Symp. Optical and Acoustical Micro-Electronics* (Polytechnic Press, New York, 1974) pp. 377-391.
- 4) T. Tamir and S. T. Peng: "Analysis and Design of Grating Couplers," *Appl. Phys.*, **14** (1977) 235-254.
- 5) K. C. Chang and T. Tamir: "Bragg-reflection approach for blazed dielectric gratings," *Opt. Commun.*, **26** (1978) 327-330.
- 6) K. C. Chang and T. Tamir: "Simplified approach to surface-wave scattering by blazed dielectric gratings," *Appl. Opt.*, **19** (1980) 282-288.