

反射防止フィルムの開発

Development of an Anti-Reflection Film for Liquid Crystal Displays

前島 勝己*
Maejima, Katsumi

小島 良和*
Ojima, Yoshikazu

田中 武志*
Tanaka, Takeshi

要旨

液晶ディスプレイ（LCD）は、PCモニター、ノートPCなどから、液晶TVへとその用途を拡大し、市場規模は急成長を続けている。このような環境の下、LCDは、高精細と高階調および高コントラストを目的に様々な開発が行われている。

LCD用表面保護フィルムとしてAG（Anti-Glare）フィルムが多く使用されて来たが、上記目的に合致する表面保護フィルムとして反射防止（AR=Anti-Reflection）フィルムを上市した。この反射防止フィルムは、低反射率かつ高い表面物性を特徴としている。本稿では、商品コンセプトと達成技術について紹介する。

Abstract

Liquid crystal displays (LCDs), long used as computer monitors, now find their application in LCD HDTVs, and the market for LCDs continues to rapidly grow. In this environment, a variety of efforts have aimed at higher resolution, higher gradation, and higher contrast. One such effort has been the development of an AR (anti-reflection) film for use with LCDs. Although AG (anti-glare) films have commonly been used as surface protection films for LCDs, AR films in the same application bring advances in low reflectivity and superior surface physical properties. Reported here are the development concept and the technology that has achieved this AR film's invention.

1 はじめに

現在、LCDは携帯電話などの小型からノートブックPC、デスクトップPCのモニター、LCD-TVなどの大型まで多様なサイズで普及しており、そのいずれのサイズでも、カラー、高精細、高階調、高コントラストの性能追求が進んでいる。ノートブックPC、PCモニターは、TN（ツイストネマチックモード）と呼ばれる表示モードが主流であり、LCD-TVは、VA（垂直配向モード）やIPS（水平電界モード）が視野角、応答速度、生産性の点から主流となっている。

LCD用表面保護フィルムは、ディスプレイの表面保護フィルムと、偏光板保護フィルムの機能を有している必要がある。Table 1 に必要な機能をまとめる。

Table 1 Properties required of LCD surface protection film

偏光板保護フィルムに必要な機能
<ul style="list-style-type: none">・面内複屈折がない・高透過率・PVA(偏光子)との接着性・偏光子との水系接着後の脱水機能・高温/高湿における寸法安定性
ディスプレイ表面保護フィルムに必要な機能
<ul style="list-style-type: none">・視認性(高精細、階調性、コントラスト)・表面の物理的物性が強い・耐熱/耐湿性・耐薬品性・防汚性

LCDの多用途への展開により、ディスプレイ表面保護フィルムの種類や構成も多様化してきた。LCDがPCモニターやノートPCに採用された当時は、主に文字や図形を長時間見るために、映り込みの無いAGフィルムが採用されたが、PCの能力アップに伴い、写真画像や動画が取り扱えるようになると、より階調性が高く高精細なLCDが要望されるようになり、表面が平滑で映り込みの少ない反射防止フィルムが要望されるようになった。

上記要望に答えるため、低反射率かつ優れた表面物性を有する塗布型のLCD用反射防止（AR）フィルムを上市した。以下、その開発思想と技術概要について報告する。

*コニカミノルタオプト(株) オプトエレクトロニクス材料事業本部
ディスプレイ材料事業部

2 反射防止フィルムの動向

2.1 LCD用表面保護フィルムの市場ニーズ

LCDは携帯電話やノートPCなどに搭載され、屋外の非常に明るい場所でも使用される。LCD-TVは大画面化により、屋内でも照明などの映り込みが生じる。このように各種環境下で視認性を向上させるため、明所コントラストの改良が必要である。一方で、携帯電話やPDAでは、表示面積が制限されるため、高精細化により表示できる情報量を増やすことを進めてきた。LCD-TVにおいても、Full-HD対応のため画素数増に加え、階調性を上げるため各種画素分割も行われており、高精細化が進んでいる。

LCD用表面保護フィルムはFig. 1に示すように、AG (Anti-Glare) フィルムと、AR (Anti-Reflection) フィルムに大別される。AGフィルムでは、ハードコート樹脂中に粒子を入れ、表面に形成した凹凸を利用した反射光の散乱と、ハードコート樹脂と粒子の屈折率の差による内部散乱を利用することで、映り込みを防止する。しかし、反射光の散乱によるコントラストの低下と、透過光の散乱による、画像の解像度の低下という欠点を持つ。一方、ARフィルムは光学干渉を利用して反射光強度を低減させるため透過率が上がり、コントラストが向上し、透過光の散乱もないため画像の解像度低下も無い。

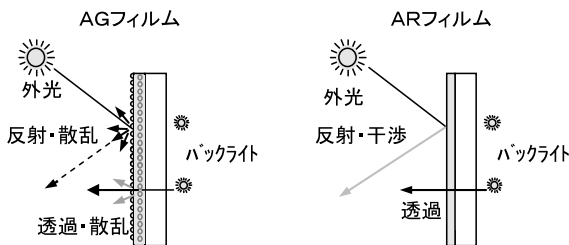


Fig.1 Functions of AG and AR films

Fig. 2にLCD用表面保護フィルムの表面粗さおよび反射率とコントラストと解像度との関係を示す。LCD用表面保護フィルムの代表的なAGフィルムを規準とすると、表面粗さを小さくすることで高精細化することができ、視感反射率 (Y値) を下げることでコントラストが上昇する。両方の特性を兼ね備えた表面が平滑で視感反射率の低いARフィルムの性能が最も優れている。

2.2 反射防止フィルムの製造方法

ARフィルムの光学干渉層の製造方法は、ドライ法とウェット法がある。ドライ法としては、真空蒸着法、スパッタ法¹⁾などがあり、ディスプレイ用途では表面物性の強い金属酸化物薄膜を形成することが多い。ドライ法は、従来はバッチ処理であったが、近年ではフィルムに連続で処理する方法も実用化されているものの、設備コ

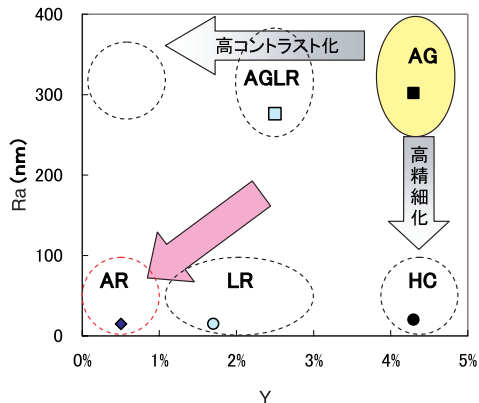


Fig.2 Properties of surface protection films

AG: anti-glare film; HC: clear, hard coat film; LR: low-reflection film ($Y \geq 1.0\%$); AR: anti-reflection film ($Y < 1.0\%$); AGLR: anti-glare, low-reflection film ($Y \geq 2.0\%$)

ストが高く、生産性が低いため、非常に高価である。

ウェット法は、スピンコート、ディッピングなどのバッチ処理や、グラビアコートなどの連続処理可能な塗布法がある。スピンコートやディッピングは、CRT用AR処理として使われてきたが、各種ディスプレイが平面化され、ARフィルムは大面積、低コストを強く要望されている。連続処理可能な塗布法によるARフィルムは、低コストと供給能力の点で有利だが、これまで上市されていたARフィルムは、反射率と表面物性がドライ法よりも劣っていた。

3 開発思想

LCD用ARフィルムは、光学特性に加え、LCDの表面を保護する機能も必要とされるため、Table 2に記載の多くの表面物性が要求される。

Table 2 Properties required of AR film

	試験項目	内容
光学特性	反射率	視感反射率Y値(%)
	色相	x値、y値
	ヘイズ	
	全光線透過率	
表面物性	耐擦傷性	スチールウール擦り試験
	鉛筆硬度	
	密着性	基盤の目試験
その他	表面抵抗	
	防汚性	指紋や薬品拭き取り性

以上のことから、永年培ってきた塗布技術を基に、下記開発コンセプトに基づき、検討を行った。

- ①ドライ法並みの低反射率と表面物性の両立。
- ②偏光板保護フィルム機能の堅持。
- ③低コスト化の実現。

4 技術概要

4.1 光学特性

Fig. 3 に、反射防止の原理を簡単に示す。入射光は、反射防止層の表面と、基材と反射防止層の界面で反射する。この表面反射光と界面反射光の位相を逆転させ打ち消しあうことで反射光を軽減することができる。これが光学干渉を利用した反射防止の考え方である。

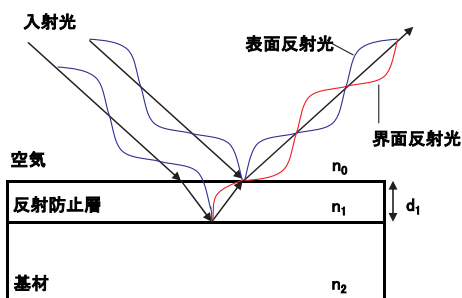


Fig.3 Principle of AR film

Fig. 3 において、反射防止層の屈折率 (n_1) と膜厚 (d_1) と、基材の屈折率 (n_2) が、下記式を満たす場合、波長 λ (nm) における反射率が 0% となる。

$$n_1^2 = n_0 \times n_2$$

$$n_1 \times d_1 = \lambda / 4$$

上記式から、反射防止効果は波長依存性があり、反射防止膜厚依存性もあることが分かる。このため、反射防止層を形成するためには、nm単位での膜厚制御が重要となる。

そこで、光学シミュレーションを活用し、屈折率と膜厚条件を選択し、あわせて必要な屈折率が得られる材料設計を行った。その結果、Fig. 4 に示すように、三層構成の反射防止層とすることで、ドライ法並みの反射率が得られることが分かった。また、後述する表面物性の点でも三層構成が有利である。

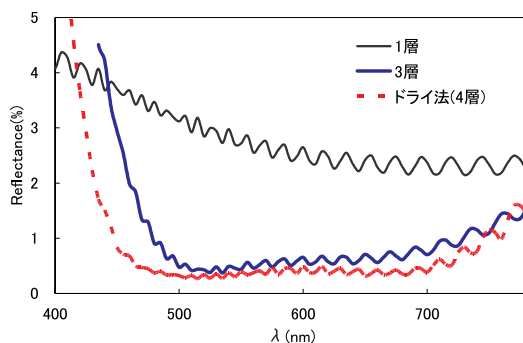


Fig.4 Spectral simulation of AR film

しかし、Fig. 5 に示すように、100nm程の光学干渉層を積層してなるARフィルムは、僅か数nmの膜厚変化により色相および反射率が変動する。このため、膜厚をナノメートル単位に制御する精密塗布技術が必要である。

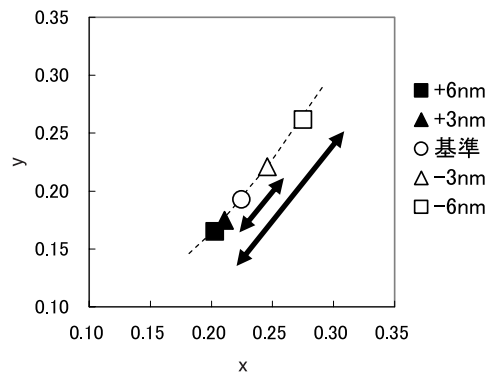


Fig.5 Hue vs. layer thickness of AR-film

上記課題に対し、精密塗布技術を開発し、更に乾燥技術、搬送技術、UV照射技術、膜厚制御技術を確認し、三層構成のARフィルムを実現した。その結果、Fig. 6 に示す視感反射率 (Y 値) が 0.5% を実現し、また、450nm~700nmの可視光のほぼ全域にわたって反射率 0.8% 以下も達成した。

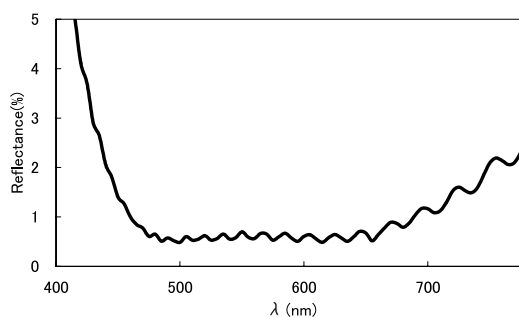


Fig.6 Reflection spectrum of developed AR film

また、ARフィルムの反射色相は、膜厚制御技術により、Fig. 7 に示す範囲で調整可能である。

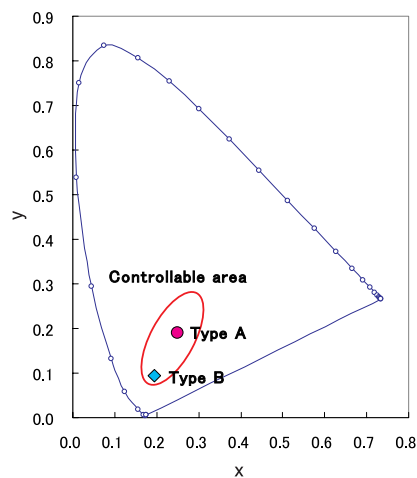


Fig.7 Hue-controllable area of developed AR film

4. 2 表面物性

開発したARフィルムの構成をFig. 8に示す。TACフィルム上のハードコート層上に、3層の光学干渉層からなるAR層で構成する。

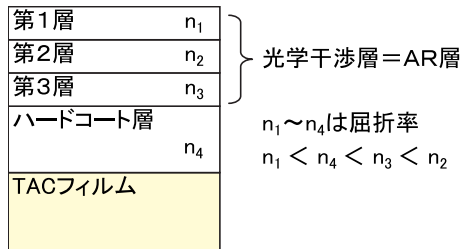


Fig.8 Configuration of AR film

LCD-TVなどのディスプレイは、物理的な接触や、付着した塵や指紋などの拭き取りが行われる。ARフィルムは、ディスプレイの最表面のフィルムであるため、この接触や拭き取りなどの取り扱いに対する十分な強度の表面物性が必要とされる。

表面物性の重要な試験は、耐擦傷性と硬度である。耐擦傷性はスチールウール擦り試験などで評価しており、AR層の強度に依存する。硬度は鉛筆硬度試験などで評価しており、フィルム全体としての硬度である。鉛筆硬度は、主にハードコート層の硬度に依存する。

ハードコート層の硬度を上げるために、架橋密度の高いUV硬化樹脂を使用し、基材との密着性や平面性を両立するための検討を行い、3Hという高い鉛筆硬度を達成した。

AR層の強度は、100nm前後の光学干渉層に高い表面物性を付与するため、ゾルゲル法による金属酸化物層を採用した。加水分解反応条件や縮合反応条件を制御することにより、非常に高い表面物性を得ることができた。Fig. 9に、加水分解反応時間とスチールウール擦り試験による傷本数の関係を示す。マーキングした条件を選択することで、傷0本レベルを達成した。

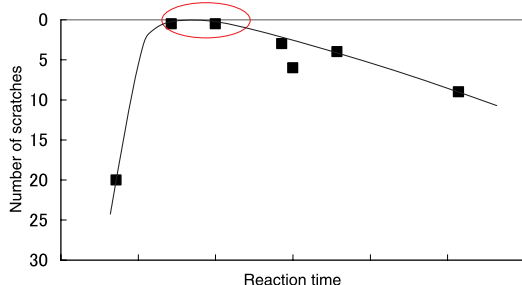


Fig.9 Hydrolysis reaction time vs. rubbing test with steel wool

4. 3 帯電防止性

近年のLCDは、先述したように視野角、応答速度の点からVAやIPSなどの新しい駆動モードも多く採用されて

いる。これらのパネルは静電気の影響を受けやすく、例えば、パネル製造後、ARフィルムの表面に貼ったプロテクトフィルムを剥離する時に発生する静電気により、液晶の配向が乱れるという現象が生ずる。また、ディスプレイに付着する塵は、CRT同様にLCDにおいても問題となる。帯電防止は、この2点から対応要望が大きい。

帯電防止技術には、界面活性剤型の帯電防止剤添加が一般的であり、表面配向することで機能を発現する。表面配向するタイプは、ディスプレイ表面を掃除すると帯電防止剤が拭き取られて機能が損なわれる、温湿度による環境依存性が大きい、という課題がある。

検討の結果、導電性の優れた金属酸化物等からなる帯電防止層を導入し、拭き取りや温湿度に対し非常に安定な帯電防止機能を付与した。

5 まとめ

今回上市した反射防止フィルムは、塗布法によるLCD用反射防止フィルムとして、低反射率かつ高い表面物性、帯電防止性を有し、従来のドライ法に対し大幅なコストダウンを達成した。その性能は市場で高い評価を得ている。代表的な光学特性および表面物性等をTable 3にまとめる。

Table 3 Properties of the AR film developed

試験項目		評価結果
光学特性	反射率	視感反射率Y値(%) 0.5%
	色相	xy値 x=0.20, y=0.09
	ヘイズ	0.3%
	全光線透過率	95.2%
表面物性	耐擦傷性	SW試験 0本
	鉛筆硬度	3H
	密着性	基盤の目試験 100/100(良好)
その他	表面抵抗	Ω/\square 1E+09
	防汚性	指紋や薬品拭き取り性 ○(良好)

現在、更なる表面物性の向上、低反射率化を目指し開発を進めている。

●参考文献

- 1) プラスチック光学部品への(超)精密コーティングの問題点とその対策, 技術情報協会, p103(2003)