

## 論文

## PDP 用高性能光学フィルタの開発\*

## Development of High Performance Optical Filter for PDP\*

中津川雄二\*\*・柴田隆之\*\*・續木淳朗\*\*・井上功\*\*・鈴浦泰樹\*\*

Yuji NAKATSUGAWA\*\*, Takayuki SHIBATA\*\*, Atsuo TSUZUKI\*\*, Isao INOUE\*\* and Yasuki SUZUURA\*\*

RESEARCH &amp; DEVELOPMENT CENTER, \*\*DAI NIPPON PRINTING CO.,LTD. 250-1, Wakashiba, Kashiwa-shi, Chiba, 277-0871 JAPAN

## Abstract

In recent years, plasma display panels (PDP) have attracted attention because of their suitability for use in applications such as large-sized, thin television receivers and monitors, and have begun to spread into the market. However, a special filter is necessary for PDP to shield the harmful radiation such as electromagnetic interference (EMI) and near-infrared radiation (NIR). To meet this requirement, we have developed a high performance optical filter for PDP that has the excellent shielding characteristics against EMI and NIR, and also has great anti-reflection function. In the manufacturing process for the filter, a new production method of "intermittent wet coating" was applied for the smoothing treatment process for the EMI shielding filter. This new method for the smoothing process was developed to apply to the Roll-to-Roll system, and could not only produce a clear filter but also improve the productivity dramatically. Furthermore, the filter was achieved the transmittance of not higher than 10% in the NIR region, the intensity level of electric-field radiation of not greater than 30dB, and low reflectance of surface (less than 1.0%). It is also excellent in environmental stability; for example, it could maintain the above-mentioned optical properties even after heat and humidity load tests of 60 degree Celsius 90%RH for 1000 hours.

## 1. 緒言

プラズマディスプレイパネル (PDP) は大画面化が可能な薄型ディスプレイとして期待されており<sup>1,2)</sup>, 放電による発光を使用した自発光型ディスプレイである。それぞれ電極を備えた前面板・背面板2枚のガラス基板が僅か0.1mmの隙間を挟んで重ね合わされており, ガラス基板の隙間には主にネオン-キセノンから成る放電ガスが充填されている。電極に100数十ボルトの電圧をかけてガスをプラズマ放電させると, ネオンならびにキセノン励起状態が生成するが, このキセノン励起状態が基底状態に戻る際に紫外線が発生し, この紫外線が背面板上のRGB (赤/緑/青) 三色の蛍光体を励起させPDPは発光する<sup>3)</sup>。

しかしながら, このプラズマ放電時には広い周波数に

わたる電磁波 (electromagnetic interference, EMI) が発生し<sup>4,5)</sup>, またキセノンは様々な励起状態を有する為に紫外線以外, 特に波長850nm~1100nm付近の近赤外線 (near-infrared radiation, NIR) も発生する<sup>6)</sup>。一方, 放電ガス中のネオンはペニング効果によりキセノン励起効率を高める役割を担うものであるが, 放電によりキセノン励起状態以外にネオン励起状態も生成する為, ネオン励起状態からの発光に帰属される朱色の光 (波長595nm付近) も発生する<sup>3,6)</sup>。EMIは主に30MHz~130MHzの周波数であり, 周囲にあるコンピュータやコンピュータ利用機器のみならず人体への悪影響が懸念されている為, 発生するEMIをできるだけ外部に洩らさないようにする必要がある<sup>7)</sup>。EMIに対しては例えば日本のVCCI技術水準<sup>8)</sup>があり, 工業用途の規制値を示すClass Iでは放射電界強度50dB未満であり, 家庭用途の規制値を示すClass IIでは40dB未満となっている。NIRは, NIRを利用した各種機器, 例えば, 家庭電気製品のリモートコントローラや, パンコ

\*2004年9月14日受理

\*\*大日本印刷株式会社 研究開発センター  
(〒277-0871 千葉県柏市若柴250-1)

ンやコードレス電話等の NIR を利用した通信機器の誤作動を引き起こす恐れがあるとされており、更にネオン励起状態からの朱色の発光は PDP の赤の色純度および色再現性を低下させる為、これらも改善が望まれている<sup>5,6)</sup>。

そこで、EMI や NIR、ネオン光といった不要輻射成分のみを遮蔽しそれ以外の光はそのまま透過させるような光学フィルタを PDP の前面に設置することが必要となり、これまで数多くの検討がなされてきた<sup>9-12)</sup>。例えば光学フィルタに EMI 遮蔽機能を付与する方法として、基材の上に銀や ITO などの導電性材料からなる数 100nm 以下の薄膜をスパッタリングにより形成するスパッタ方式がある。スパッタ方式は屈折率の異なる導電性材料、例えば Ag (銀) と ITO (酸化インジウムスズ) とを交互に何層にも積層化する<sup>7)</sup> ことで EMI のみならず、干渉効果により NIR 遮蔽機能も同時に付与可能というメリットを有するが、家庭用途の EMI 規制値を示す Class II をクリアするには厚膜化以外の手が無く、その結果として可視光透過性を犠牲にしなければならないとの問題があった。この問題を解決する方法として、基材の上に銅やニッケルなどの導電性材料からなる数 10 $\mu$ m 程度の細線メッシュを形成するメッシュ方式により得られる EMI 遮蔽フィルタがある。これは、基材に接着剤を介してラミネートした金属箔をフォトリソエッチング加工して、細線格子状の金属メッシュを形成したものである。メッシュ方式による EMI 遮蔽フィルタは Class II をクリアする EMI 遮蔽性が得られるが、一方で、接着剤に金属箔の表面粗さが転写されることにより生じる不透明 (高ヘイズ) 状態を解消する透明化機能および NIR 遮蔽機能を別途付与する必要がある。しかしながら、透明化工程には従来、メッシュ側に粘着フィルムを熱圧着して透明化する手法<sup>13)</sup> が用いられており、枚葉工程 (Sheet-to-Sheet 生産) である為、低生産性が問題としてあった。また、NIR 遮蔽機能も従来品は高温下や加湿下で長時間使用すると、NIR 遮蔽性が低下したり、可視領域に特定の吸収が現れ、変色して見える等の問題があった。更に PDP 用光学フィルタには、室内外光景の映り込みを防止する為に最表面は通常のディスプレイと同様の反射防止機能も求められている。

今回、上述のような課題を解決する為、多機能性が求められる PDP 用光学フィルタの開発を実施した。その結果、Roll-to-Roll 工程による優れた生産性を有する透明化機能付き EMI 遮蔽フィルタ、優れた光学特性、環境信頼性を有する NIR およびネオン光遮蔽フィルタ、更にこれら機能を 1 つにした複合化フィルタを開発することができた為、報告する。

## 2. 実験

本研究を始めるにあたり、作製した各種光学フィルタの光学特性を評価する為、光線透過率および光線反射率に関しては積分球付き分光器 UV-3100PC (島津製作所株) を用いて、JIS (Japanese Industrial Standard) K-7105 記載の方法に基づき測定した。視感透過率や視感反射率は JIS R-8722 記載の計算式に基づき上記測定データから算出したものを用いた。透明性の一指標であるヘイズはシングルビーム方式ヘイズコンピューター HZ 1 (スガ試験機株) を用いて測定し、EMI 遮蔽性は VCCI 技術水準<sup>8)</sup> に基づき測定した。

環境信頼性評価には耐熱試験 (80 $^{\circ}$ C 1000hr)、耐湿熱試験 (60 $^{\circ}$ C 90% RH1000hr)、ヒートサイクル試験 (-30 $^{\circ}$ C  $\leftrightarrow$  80 $^{\circ}$ C, 100 サイクル)、耐寒試験 (-40 $^{\circ}$ C 1000hr)、以上 4 条件の促進試験を実施し、試験前後における光学フィルタの光学特性変化を比較、評価した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 EMI 遮蔽フィルタの開発

Fig.1 には本研究にて作製した EMI 遮蔽フィルタ断面図を、Fig.2 には外観および拡大写真を示してある。Fig.1 に示すように本 EMI 遮蔽フィルタは「金属 (銅) メッシュ / 接着剤 / 透明基材 (ポリエステル)」の層構成になっており、導電性材料として銅、透明基材としてポリエステルの組み合わせを選定した。銅は高い導電性を示すのみならずフォトリソエッチングによる加工が容易であり、ポリエステルは機械強度、透明性、熱および化学耐性に優れる為である。Fig.2 に示すようにメッシュ部と額縁状の非メッシュ部を作製し、メッシュにはバイアス角を設けているが、これは額縁状の非メッシュ部は吸収した電磁波を電流として流し出す為、バイアス角は PDP のピクセルパターンとメッシュパターンとの干渉により生じるモアレ防止の為である。良導電性材料である銅メッシュが電磁波を遮蔽

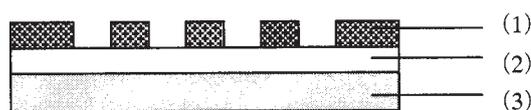


Fig.1 A sectional view of the EMI shielding filter in our developed filter for PDP. (1) a conductive metal (Cu) mesh, (2) an adhesive layer, (3) a transparent based film (polyester).

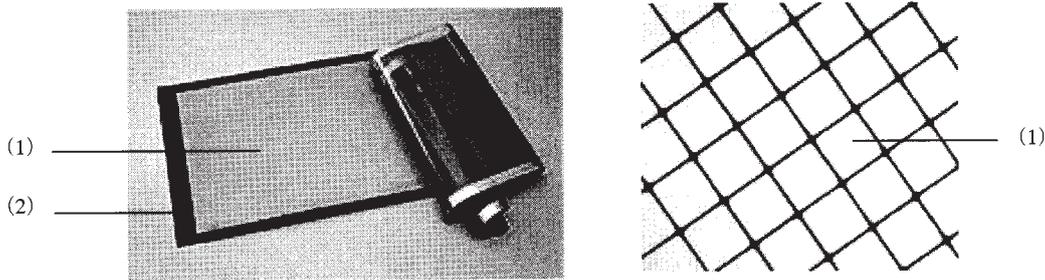


Fig.2 Appearance of the EMI shielding filter and enlarged meshes. (1) a Cu mesh with a bias angle, (2) an earth electrode such as a picture frame. An earth electrode surrounds the Cu meshes to convert the electromagnetic waves into electronic energy. The Cu meshes have c.a.  $300\mu\text{m}$  pitch and c.a.  $10\mu\text{m}$  width.

する役割を持ち、この銅メッシュのピッチ間隔および線幅によって光線透過率やEMI遮蔽性が決定される<sup>7)</sup>。例えば、銅メッシュのピッチ間隔が狭い若しくは線幅が狭いほどEMI遮蔽性が高くなるが、光線透過率は低下する。本研究で得られたEMI遮蔽フィルタは線幅：約 $10\mu\text{m}$ 、ピッチ間隔：約 $300\mu\text{m}$ であり、光線透過率90%以上、EMI遮蔽性は30dB以下と、高光線透過率でありながらVCCI家庭用途の規制値を示すClass II (40dB未満)を満たすものが得られた。

### 3.2 連続透明化工程の開発

EMI遮蔽フィルタにメッシュ方式を用いた場合、高EMI遮蔽性が得られるものの、単体では不透明(高ヘイズ)である為、透明化機能を別途付与する必要があることは緒言で記載した通りである。尚、この高いヘイズは銅箔を除去した後の接着剤層の表面が荒い為であり、この表面粗さは銅箔の粗い面が接着剤層に転写されるために起こる。透明化工程における従来の問題(Sheet-to-Sheet生産起因の低生産性)を解決する為、我々は透明化前のメッシュ方式EMI遮蔽フィルタ(今後これを素メッシュと呼ぶ)を

Roll状に形成し、ロールから巻き出される素メッシュに連続的に且つ選択的に透明化用樹脂を塗工する方式(間欠塗工方式)を開発した(Fig.3)。本方式はRoll-to-Rollで全工程を処理する為、工程数が大幅に削減でき製品を高効率に安価に大量生産可能とする方式である。

間欠塗工方式を導入するに当たり、以下の2点の課題を克服する必要がある。

- ① Fig.2に示すようにEMI遮蔽フィルタは吸収した電磁波を電流として流し出すための額縁状のアースが必要である為、透明化の為の塗布はその内側のメッシュ部に精度良く実施する必要がある。
- ② 高視認性を得る為、形成された透明化層は高平坦性および高透明性を有する必要がある。

これらの課題を克服する為に、透明化用樹脂側の検討として樹脂の透明性や屈折率、レベリング性、粘度やチキソ性などの観点から選定を実施した。一方、塗工機側の検討としては塗工方式や送液システムなどの最適化を実施し、その他、塗工厚さや周囲温湿度など環境条件の最適化も実施した。その結果、現時点で塗工精度 $\pm 1\text{mm}$ が得られている。

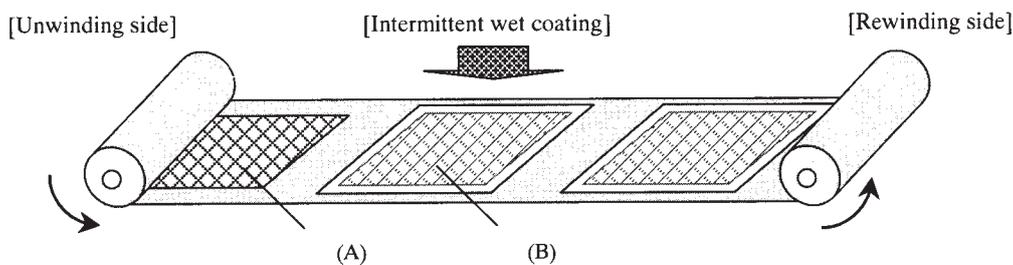


Fig.3 The manufacturing outline of the intermittent wet coating method for the smoothing treatment for the EMI shielding filter. (A) indicates the raw mesh. (B) indicates the part that smoothing treatment has finished.

### 3.3 NIR 遮蔽フィルタの開発

EMI 遮蔽フィルタにメッシュ方式を用いた場合は別途 NIR 遮蔽機能を設ける必要があり, NIR 遮蔽への要求特性は波長 850nm ~ 1100nm 域で光線透過率 10% 以下であるが, ディスプレイの視認性を高める為に NIR 遮蔽フィルタの可視域 (380nm ~ 780nm) での平均光線透過率は 60% 以上, 色調はニュートラルグレイの必要がある. 更にはこれらの特性は耐熱試験 (80°C 1000hr) や耐湿熱試験 (60°C 90% RH1000hr) 後も維持されなければならない<sup>6)</sup>. NIR 遮蔽フィルタは NIR 吸収色素をバインダ樹脂中に均一に分散させ, 得られた組成物を透明基材上へ塗工することにより得られる. PDP で使用が検討されている色素としては, 例えばシアニン系化合物, スクアリウム系化合物, チオールニッケル錯塩系化合物, フタロシアニン化合物, ナフタロシアニン化合物, トリアリルメタン系化合物, インモニウム系化合物などがある<sup>15,16,17)</sup>. これらの中で例えばチオールニッケル錯塩系化合物, フタロシアニン化合物等は耐久性に優れる反面, 可視域の吸収が大きく, 十分な可視光線透過率を得るのが困難である. 一方, スクアリウム系化合物やインモニウム系化合物は可視域吸収が小さい反面, 耐久性が不十分である. また, PDP で使用が検討されているバインダ樹脂としては, 例えばポリカーボネートやポリエステル, アクリル樹脂などがある<sup>18,19)</sup>. 今回, 各種の NIR 吸収色素とバインダ樹脂を, 自社開発した光学シミュレーションソフトを利用してスクリーニングし, 最適化することにより, 上記要求特性をクリアするに至った. この光学シミュレーションソフトは Lambert-

Beer 則に基づく光吸収項の他, フィルタ界面での光反射および光散乱因子, 更には各種バインダ樹脂の屈折率や透明性などの因子を考慮したものであり, NIR 遮蔽フィルタとしての分光特性を予測できるものである. スクリーニングおよび最適化に関して, 色素は NIR 遮蔽特性, 耐久性, 溶解性などの観点から選定し, 樹脂は色素との相性, 溶解性や透明性などの観点から選定を行った. Fig4 (a) には本研究にて選定した色素および樹脂を PET フィルム上に塗工し作製した NIR 遮蔽フィルタの分光スペクトルを, Fig4 (b) は比較の為に本研究にて選定した色素と一般的なポリエステル樹脂の組み合わせで得られた NIR 遮蔽フィルタの分光スペクトルを示してある. 同一の NIR 吸収色素を使用してもバインダ樹脂が異なると耐久性に差が発生するのが読み取れる. Fig4 (b) は可視域 (450nm 付近) および NIR 域 (1000nm 付近) の何れにおいても 60°C 90% RH1000hr 前後で大きくスペクトル変化が起こっている一方, Fig4 (a) で示される本開発品は経時でのスペクトル変化が殆ど無い. また, 本開発品は耐久性に優れているのみならず, 要求特性である 850nm ~ 1100nm 領域での光線透過率 10% 以下をクリアし, 更に視感透過率が 60% 以上であることから透明性に優れ, かつ分光スペクトルがフラットであることから色調がディスプレイに好適なニュートラルグレイのフィルタであることが分かる.

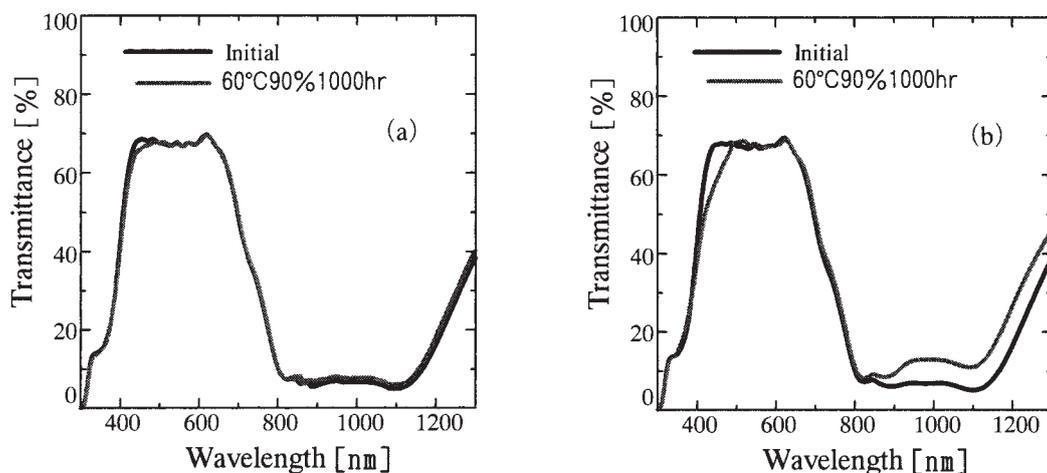


Fig.4 The spectral properties of NIR shielding filters after they were left to stand in an atmosphere of a temperature of 60 degrees Celsius and a humidity of 90% for 1000 hours. (a) indicates our developed NIR shielding filter, (b) indicates the NIR shielding filter with the normal polyester resin.

### 3.4 ネオン光遮蔽フィルタの開発

PDPは放電ガス中にネオンガスが混在する為、プラズマ放電によりこのネオン励起状態からの発光に帰属される朱色の光(595nm付近)も発生する。このネオン光はRGB(赤/緑/青)三色の蛍光体からの発光と混合し、特に赤の色純度及び色再現性を低下させる<sup>5)</sup>。また一方で、上記595nm付近の吸収帯を設けることで、蛍光灯の反射も効果的に低減することが可能となる<sup>20)</sup>。そこでPDPでは色素等でこの595nm付近のネオン光を吸収する必要があるが、595nm付近には蛍光体からの発光である500nm~530nm付近の緑色発光及び610nm~630nm付近の赤色発光があり、これらをカットしない為に、色素の透過率曲線はシャープな谷型を有しなければならない。PDPで使用が検討されている色素としては、例えばシアニン系化合物、スクアリリウム系化合物、テトラアザポルフィリン系化合物、サブフタロシアニン系化合物、ピロメテン系化合物等、が挙げられる<sup>21,22)</sup>。今回、各種ネオン光吸収色素の選定の為、先ずJIS R-8722記載の計算式に基づいた色度座標計算式にPDPパネルおよび蛍光灯からの発光スペクトルの項を組み込んだ光学シミュレーションソフトを開発した。この光学シミュレーションソフトにより、最も効果的にネオン光を遮蔽しPDPの色純度および色再現性を向上させる光吸収帯位置および吸収量を算出し、それに合うネオン光吸収色素ならびに配合量の検討を行った。また今回バインダ樹脂は粘着剤を用いた。これは各機能層同士の貼り合せ面にネオン光吸収機能を付与することで層構成減少による高い生産性が得られる為である。本研究にて選定したネオン光吸収色素は極めて高耐久性であり、耐熱試験(80℃1000hr)や耐湿熱試験(60℃90%RH1000hr)後も分光特性の変化は見られなかった。更に蛍光体からの発光である500nm~530nm付近の緑色発光及び610nm~630nm付近の赤色発光をカットしないシャープな谷型を有していた。

### 3.5 複合化フィルタの開発

上記の透明化機能付きEMI、NIR、ネオン光遮蔽機能、更に反射防止機能(DNPにて上市中のTAC-AR1)を1つにまとめた複合化フィルタの層構成をFig.5、分光特性をFig.6に示した。Table.1には複合化フィルタの諸特性をまとめて示してある。層構成は反射防止層/ガラス/ネオン光遮蔽層/透明化機能付きEMI層/NIR遮蔽層、である。本複合化フィルタはエッチングメッシュ方式のEMI遮蔽フィルタを用いている為VCCI家庭用途の規制値を示すClass IIを満たすものであり、NIR遮蔽に関して

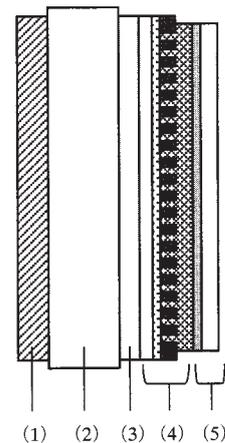


Fig.5 The schematic cross-sectional view of the multi-functional optical filter having anti-reflection, NIR and neon shielding, and EMI shielding with smoothing treatment function. (1) anti-reflection layer, (2) semi-tempered glass, (3) neon shielding layer, (4) EMI shielding layer with smoothing treatment, (5) NIR shielding layer.

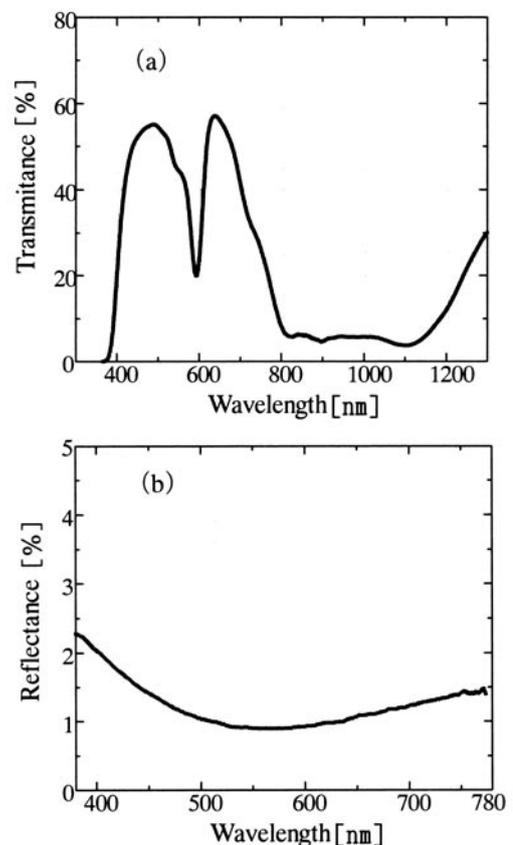


Fig.6 The spectral properties of the multi-functional optical filter having anti-reflection, NIR and neon shielding, and EMI shielding with smoothing treatment function. (a) indicates a transmittance. (b) indicates a reflectance of our developed filter for PDP.

Table.1 Properties of our developed multi-functional optical filter.

Contents		Method	Property
Haze (%)		Based on JIS K7105	3.8
NIR Transmittance (%)	850nm		8.3
	950nm		5.8
	1100nm		3.7
Visible-light Reflectance (%)		Based on JIS K7105,	1.0
Visible-light Transmittance (%)		Standard light: C, View angle: 2 degree	43.0
Coating Adhesion		Based on JIS K5400, Cross-cut by 1.0mm	100/100
Rubbing with Steel Wool		Steel Wool #0000, Force: 2.45N	No Scratches
Pencil Hardness		Based on JIS K5400	2H
Bend		To wind the filter around a steel rod	φ 10mm・No crack
Contact Angle		To use pure water	104°~110°
Anti-smudge		1. To abrade the mark using tissues for 10 cycles	Fingerprints・No trace
		2. To stick adhesive tape on the place and remove the tape	Marker・No trace

も要求特性の波長 850nm ~ 1100nm 域で光線透過率 10% 以下をクリアしている。更にネオン光遮蔽に関しては、蛍光体からの発光である 500nm ~ 530nm 付近の緑色発光及び 610nm ~ 630nm 付近の赤色発光をカットしないシャープな谷型を有している。また、視感透過率 43%, 視感反射率 1.0% であり、透明性および反射率にも優れた光学特性を有す PDP に最適な複合化フィルタであると言える。

## 4. 結 論

本研究において、PDP 用光学フィルタに必要な機能である「透明化機能付き EMI, NIR, ネオン光遮蔽機能, 反射防止機能」を有する複合化フィルタを作製できた。透明化機能に関しては、従来のメッシュ側に粘着フィルムを熱圧着して透明化する手法の代わりに間欠塗工方法を用いる事により、Sheet-to-Sheet 生産から Roll-to-Roll 生産への切り替えが可能となることから、従来製法で問題であった低生産性の問題解決の可能性が見えてきた。また、NIR 遮蔽機能に関しては NIR 吸収特性や色味（ニュートラルグレイ）のみならず、環境信頼性にも優れるものを作製できた。ネオン光遮蔽機能に関しては蛍光体からの発光を妨げないシャープな谷型を有するのみならず、粘着剤をバインダ樹脂として採用したことから層構成低減が可能となった。

## 参考文献

- 1) 荻谷教治：“フラットパネルディスプレイ 2002”，日経 BP 社（2002）p.137.
- 2) 佐藤陽一：第 36 回プラズマディスプレイ討論会，講演資料（2004）.
- 3) 布村恵史：電子ディスプレイ Tutorial 講演集，127（2004）.
- 4) 登丸しのぶ：Electronic Journal, [8], 74（2002）.

- 5) 岡田 知：PDPにおける各部材別特性および最新の開発事例，情報機構主催，PDP 書籍発刊記念セミナー資料（2004）.
- 6) 中澄博行監修：“機能性色素の最新技術”（2003）p.258.
- 7) 野村 宏，今泉純一，高橋宏明，林新太郎：日立化成テクニカルレポート，No42, 35（2004）.
- 8) Voluntary Control Council for Information Technology Equipment（情報処理装置等電波障害自主規制協議会），<http://www.vcci.or.jp/>
- 9) 東芝硝子(株)，特開昭 62-153144
- 10) T. Okamura, S. Fukuda, K. Koike, H. Saigou, T. Kitagawa, M. Yoshikai, M. Koyama and Y. Matsuzaki : *Proc. of IDW'00*, 905（2000）.
- 11) 呉羽化学工業(株)，特開平 06-324213
- 12) 鐘紡(株)，特開平 11-116826
- 13) 三井化学(株)，特開 2002-323862
- 14) 田村一雄：“2004 年版 透明導電性フィルム市場の現状と将来展望”，(株)矢野経済研究所（2004）p.28.
- 15) 三菱化学(株)，特開 2001-108824
- 16) 日本化薬(株)，特開 2003-96040
- 17) 三井化学(株)，特開 2000-229980
- 18) 三井東圧化学(株)，特開平 10-62620
- 19) 三菱化学(株)，特開平 10-139997
- 20) Y. Chiaki, M. Koike, M. Ishigaki, K. Kariya and H. Ohki : *Proc. of IDW'02*, 673（2000）.
- 21) 三菱化学(株) 特開 2003-139946
- 22) 高柳一博，土師圭一郎：光学機能性フィルムへの着色粘着加工製品，コンバーテック，[3], 56（2003）.