

ZnS:Mn 高輝度薄膜 EL パネル (3)

MOCVD 法による EL パネルの作製

高 原 俊 也
遠 藤 三 男
千 葉 和 幸
近 藤 昭 夫

5-inch Diagonal ZnS:Mn TFEL Panels Fabricated by MOCVD Using a Sequential Deposition Apparatus

Toshiya TAKAHARA
Mitsuo ENDO
Kazuyuki CHIBA
Akio KONDO

ZnS:Mn phosphor films and Al₂O₃ dielectric films have been prepared by the metalorganic chemical vapor deposition (MOCVD) using a newly developed MOCVD apparatus, which can deposit the phosphor films and the dielectric films sequentially. ZnS:Mn films prepared in this study had the (111)-oriented cubic structure. The luminance of the devices was strongly related to the crystallinity of ZnS:Mn films. At the optimum growth condition, the devices prepared by MOCVD exhibited higher luminance and efficiency than those obtained by the EB-evaporation reported previously. Finally, we have fabricated the 5 inch diagonal ZnS:Mn TFEL panels.

1. はじめに

EL ディスプレイ (Electroluminescent Display) は、自己発光型で且つ視認性に優れたフラットパネルディスプレイの一つであり、その薄型軽量および高表示品位という特長を生かしてラップトップ型のワードプロセッサ、パソコンおよび各種計測機器のディスプレイとしてその需要が高まっている。現在発光層には、唯一実用輝度を達成しているオレンジ色発光を呈する ZnS:Mn が使用されているが、更に高輝度化、高効率化、低消費電力化および低コスト化を目指して各所で研究開発が行われている。

EL 素子の構造を Fig. 1 に示す。EL 素子の主要構成部分である発光層および誘電体層の作製法は、大別して電子ビーム蒸着法¹⁾、スパッタリング法²⁾ に代表される PVD (Physical Vapor Deposition) 法と MOCVD (Metalorganic Chemical Vapor Deposition) 法³⁾⁴⁾、ALE (Atomic Layer Epitaxy) 法⁵⁾⁶⁾ に代表される CVD (Chemical Vapor Deposition) 法に分けることができる。筆者らのグループは以前より電子ビーム蒸着法とスパッタリング法を組み合わせた PVD 法による 9 インチ高輝度 EL ディスプレイの開発を行っており、その開発経緯についてはすでに報告を行っている⁷⁾⁸⁾。

一方 CVD 法には、PVD 法に比べて次のような点で

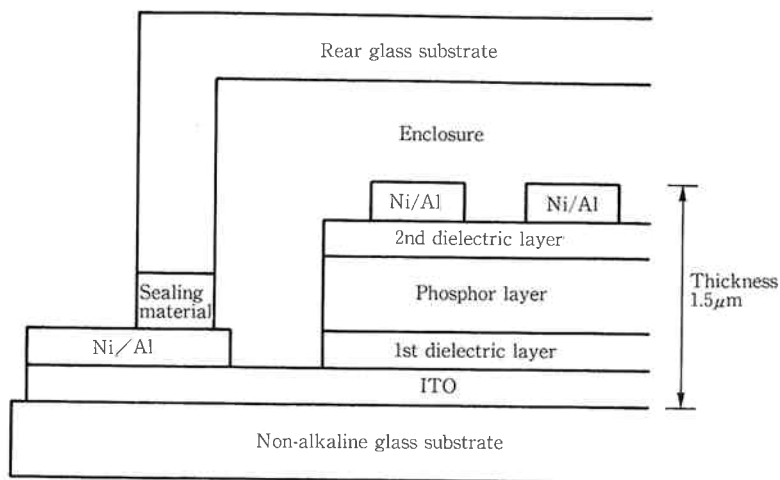


Fig. 1 Cross-sectional view of EL panel.

優位性があると考えられる。

- 1) CVD 法では比較的容易に高品位の薄膜結晶が得られるので、PVD 法に比べて発光輝度、発光効率および駆動電圧等の EL 特性の点で優れた素子を得易い。
- 2) CVD 法では低温プロセスでの薄膜成長が可能のため、PVD 法では必須であるアニール工程を省略することができ、それにより安価なアルカリガラス基板を使用することが可能となるので、パネルの生産性および生産コストの点で有利である。
- 3) CVD 法では DSD (1st Dielectric Layer-Semiconductor Layer-2nd Dielectric Layer) 連続成長が可能であるため、生産性を向上させることができる。

そこで我々は、CVD 法の中でも比較的大面積化が容易であり、また多色化の点でも有利であると考えられる MOCVD 法を用いて EL 素子を開発することを試みた。特に装置については、5 インチサイズ基板に DSD 連続成膜を行なうことのできる新たな装置を開発し、それを使用した。

本報告では MOCVD 法により作製した ZnS:Mn 発光層および Al₂O₃ 誘電体層について、その開発経緯を述べると共に、試作を行なった 5 インチ EL ディスプレイについても合わせて報告する。

2. 実験方法

(1) MOCVD 装置

本研究で使用した MOCVD 装置の概略図を Fig. 2 に示す。本装置は 9 インチサイズまでの大型基板に DSD 連続成膜を行うことが可能であり、発光層を作製する MO 炉と誘電体層を作製する酸化炉の 2 つのリア

クターにより構成されている。薄膜の成長は Depo-Up 方式で行なうので、成長面は基板の下向き側の面となる。発光層の成長は 2~20 Torr の減圧下で行ない、誘電体層の成長は常圧下で行なう。ガラス基板を搭載するカーボン製のサセプターは、直径 395 mm 厚さ 15 mm の円盤状で、9 インチパネル基板 1 枚または 5 インチパネル基板 2 枚を載せることができる。2 つのリアクターの間はゲートバルブにより仕切られており、内部に設置された搬送機構を用いて減圧下でサセプターを移動させることにより、大気解放すること無く DSD 連続成長を行なうことができる。MO 炉側には排気口の手前にガス流制御板が設置されており、減圧下における原料ガス流が基板面に到達しやすいように工夫されている。原料ガス供給系の系統図を Fig. 3 に示す。本装置には 5 種類の有機金属バブラーを接続することができ、そのうち 3 系統は MO 炉へ、2 系統は酸化炉へ配管されている。有機金属を輸送するキャリアガスには H₂ または Ar を用いている。個々のキャリアガスの流量はマスフローコントローラーを用いてそれぞれ独立に制御することができる。配管の周囲にはシリコンヒーターが巻かれており、有機金属原料の配管内での液化を防いでいる。

(2) 有機金属原料

ZnS:Mn 発光層の作製には、Zn 原料としてジエチル亜鉛 (以下 DEZ と略記)、Mn 原料としてビスメチルシクロペンタジエニルマンガン (以下 BCPM と略記)、S 原料として Ar により 10 又は 20% に希釈した H₂S をそれぞれ用いた。このうち BCPM は最近開発された材料であり⁹⁾、従来用いられていたトリカルボニルメチルシクロペンタジエニルマンガン¹⁰⁾ に比べて蒸気圧が高く、また低い温度で分解する。本研究で使用した BCPM の構造を Fig. 4 に示す。

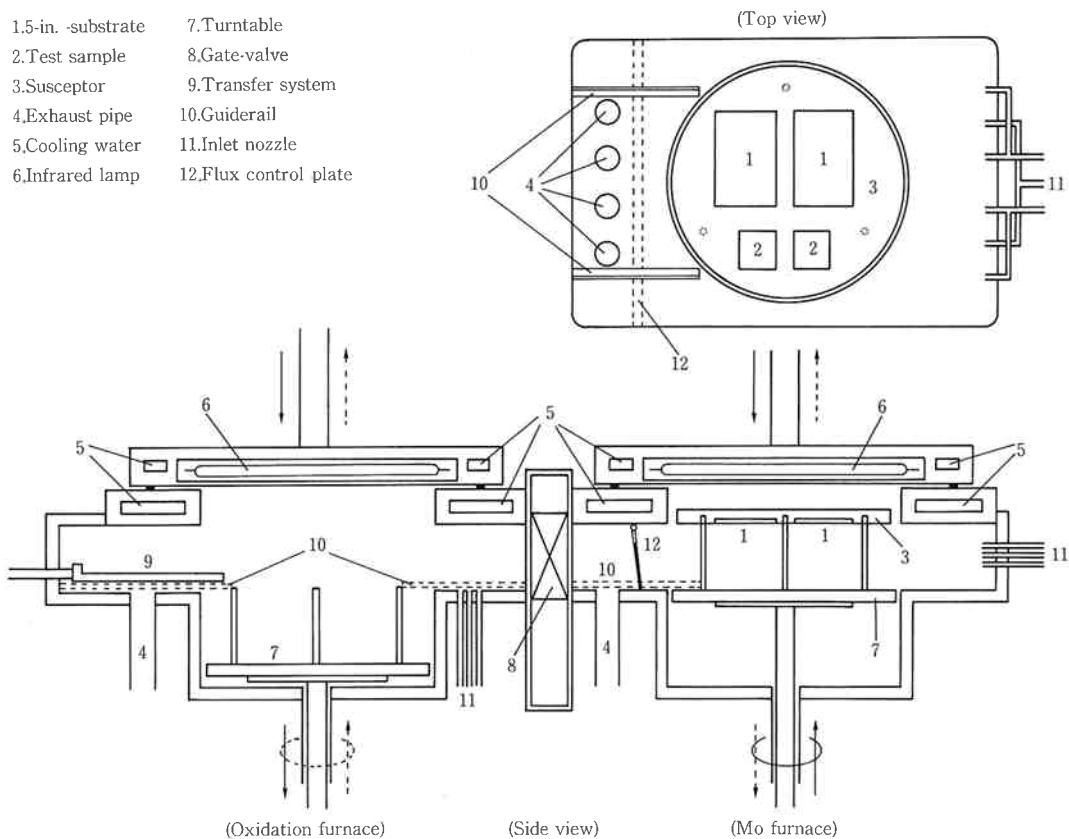


Fig. 2 Schematic diagram of the MOCVD system.

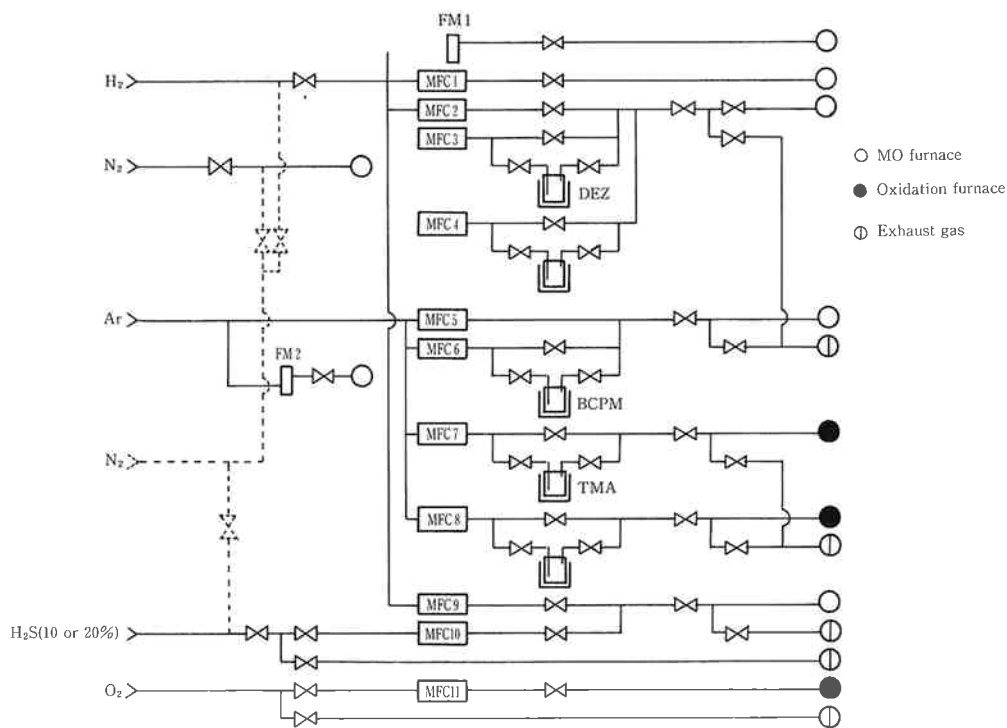


Fig. 3 Schematic diagram of the gas lines.

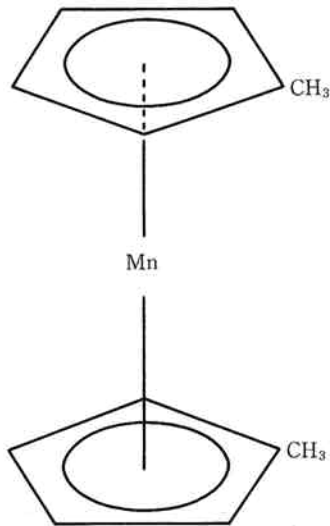


Fig. 4 Structural formula of bis-methylcyclopentadienyl manganese.

Al_2O_3 誘電体層の作製には、Al 原料としてトリメチルアルミニウム (以下 TMA と略記)、O 原料として O_2 をそれぞれ用いた。

〔3〕 薄膜の成長

今回行った ZnS, ZnS:Mn および Al_2O_3 薄膜の実験条件を Table 1, Table 2 および Table 3 に示す。

発光層の電気光学特性の評価を行なう際には、第一および第二誘電体層に RF スパッタリング法で作製した Al_2O_3 薄膜 (200 nm) を用いた素子を作製した。

誘電体層の電気特性の評価を行う際には、 Al_2O_3 薄膜 (200 nm) を透明電極 (ITO) と背面電極 (Al) でサンドイッチした素子を作製した。

〔4〕 薄膜物性の評価

ZnS および ZnS:Mn 薄膜の結晶構造の解析には、X 線回折装置を用いた。初めに Continuous-Scan により全体のプロファイル調べた後、主回折線について Step-Scan により更に詳細な測定を行なった。

薄膜の組成分析には蛍光 X 線分析装置を用いた。測定方法は標準試料を用いた FP 法とした。

Table 1 Growth condition of ZnS film.

Sub. temp.	200~450°C
Reactor press.	2~20 Torr
VI/II ratio	2.7~21.6
DEZ flow rate	$0.95\sim3.79 \times 10^{-4}$ mol/min.
H_2S flow rate	$5.14\sim41.1 \times 10^{-4}$ mol/min.

Table 2 Growth condition of ZnS:Mn film.

Sub. temp.	150~350°C
Reactor press.	2~20 Torr
VI/II ratio	5.4
DEZ flow rate	1.89×10^{-4} mol/min.
H_2S flow rate	1.03×10^{-3} mol/min.
BCPM flow rate	$3.2\sim12.3 \times 10^{-6}$ mol/min.

Table 3 Growth condition of Al203 film.

Sub. temp.	375~450°C
O/TMA ratio	87~347
TMA flow rate	$1.54\sim6.14 \times 10^{-4}$ mol/min.
O_2 flow rate	2.67×10^{-2} mol/min.

〔5〕 電気光学特性の評価

EL 素子の電気光学特性の評価には、Sawyer-Tower 回路を用いた。回路の構成を Fig. 5 に示す。素子に交流電圧を段階的に印加し、発光輝度を市販の輝度計を用いて測定しながら Q-V ループを算出することにより発光輝度、発光効率等のパラメーターを得た。測定には 100 Hz の正弦波を用いた。

Al_2O_3 薄膜の誘電率、誘電損失の測定には、市販のインピーダンス/ゲインフェイズアナライザを用いた。絶縁耐圧の測定には、100 Hz, 40 μsec のパルス波を用い、電圧を段階的に印加しながら各電圧での破壊点の発生点数を目視によりカウントし、発生点数が積算して 100 となった電圧をその誘電体層の破壊電圧とした。

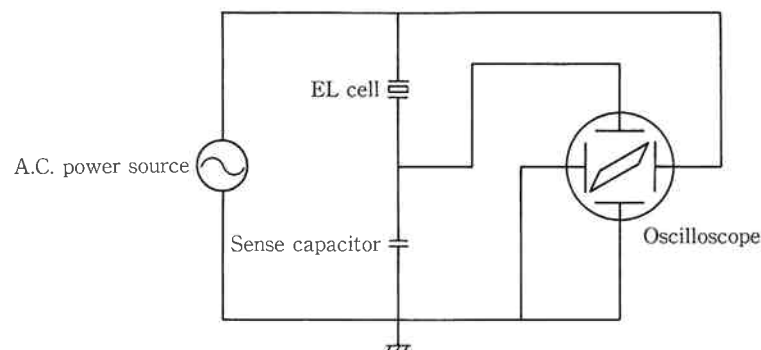


Fig. 5 Sawyer-Tower circuit.

3. 結果と考察

(1) ZnS 薄膜について

ZnS:Mn 発光層の作製条件を検討する前に、その母材である ZnS 薄膜の物理的特性および装置特性の作製条件依存性を検討した。

一般に II-VI 族化合物の MOCVD 成長では、成長速度が II 族原料の供給量によって支配されるような II 族原料の供給律速領域において成膜を行なうことが望ましく、この領域で成膜を行なうことにより膜厚の制御性に優れた再現性の良い薄膜成長が可能となる。そこで II 族原料 (DEZ) の供給量を一定にして VI 族原料 (H_2S) の供給量を変化させ、VI/II 比と成長速度との関係を調べた結果を Fig. 6 に示す。成長速度は、VI/II 比が 5.4 以上の領域では H_2S の濃度に関係なく一定であり、その平均は 18.0 nm/min となる。VI/II 比を一定にして DEZ 供給量を変化させた時の DEZ 供給量と成長速度との関係を Fig. 7 に示す。DEZ 供給量と成長速度との間には原点を通る直線関係がある。従って本装置の場合、VI/II 比が 5.4 以上において II 族原料の供給律速が成り立っているため、以後の実験はすべてこの領域で行なった。成長時間を変化させた時の成長時間と成長膜厚との関係を Fig. 8 に示す。成長時間と成長膜厚との間には原点を通る直線関係があり、成長初期における基板表面での核形成時間が非常に短いことを示している。以上の結果より本装置による実験は、非常に再現性に優れているといえる。

今回作製した ZnS 薄膜の典型的な X 線回折パターンを Fig. 9 に示す。主回折線は $2\theta=28.5^\circ$ 付近に現れる。ZnS には立方晶と六方晶の二つの結晶系が存在し、この付近には立方晶 (111) 面 ($d=3.123$) あるいは六方晶

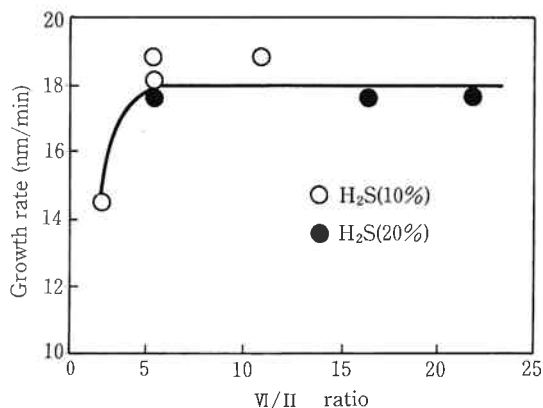


Fig. 6 Growth rate of ZnS films as a function of VI/II ratio. ($T_{sub}=350^\circ C$, $P_w=10$ Torr)

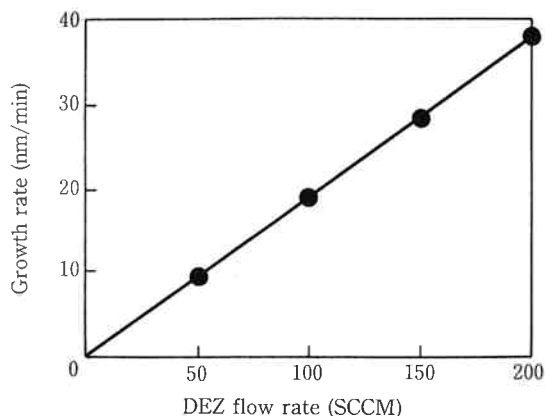


Fig. 7 Growth rate of ZnS films as a function of DEZ flow rate. ($T_{sub}=350^\circ C$, $P_w=10$ Torr, VI/II = 5.4)

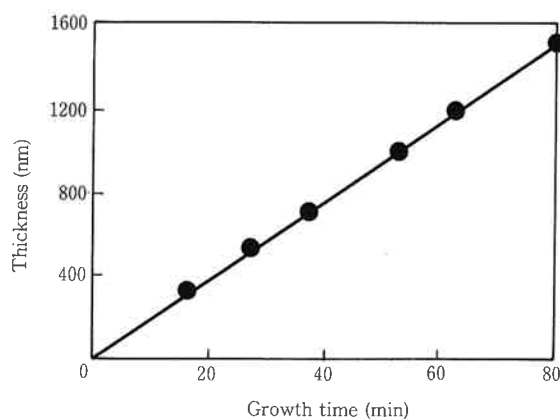


Fig. 8 Thickness of ZnS films as a function of the deposition time. ($T_{sub}=350^\circ C$, $P_w=10$ Torr, VI/II = 5.4)

(002) 面 ($d=3.128$) の回折線が存在するためこれだけでは今回作製した薄膜の結晶系を決定することはできない。CVD 法により作製した ZnS 薄膜は六方晶となるという報告もあるが¹¹⁾、今回の場合主回折線以外の回折線の中に立方晶でのみ帰属することのできる (200) 回折線が存在することから、本実験において作製した ZnS 薄膜の結晶系は立方晶であると考えられる。(111) 回折線の半値幅の反応圧力依存性を Fig. 10 に示す。半値幅は反応圧力の低下と共に若干減少する傾向にあるが、その変化は小さい。半値幅は基板温度に大きく依存しており基板温度 $250^\circ C$ の場合、どの圧力領域においても基板温度 $350^\circ C$ の場合より常に小さい値を示している。(111) 回折線の半値幅の基板温度依存性を Fig. 11 に示す。半値幅は反応圧力に関係なく同様の挙動を示し、基板温度 $250^\circ C$ の時に最も小さくなり、この付近で結晶性の良い薄膜が得られている。

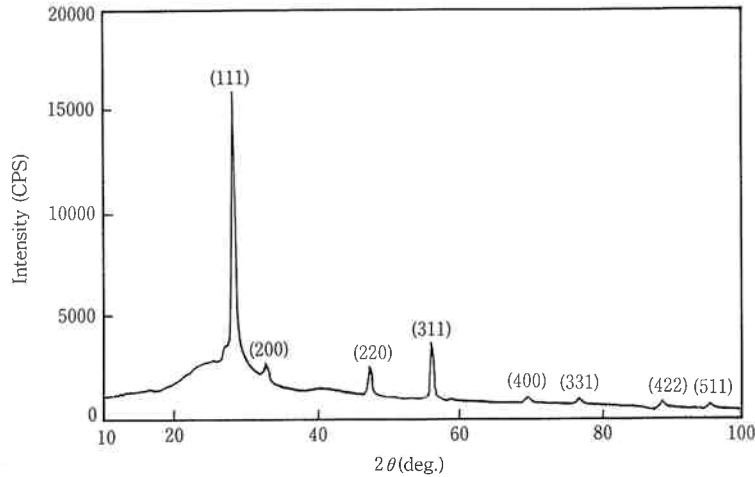


Fig. 9 X-ray diffraction spectra of ZnS film.
($T_{\text{sub}}=350^{\circ}\text{C}$, $P_w=10$ Torr, $VI/II=5.4$)

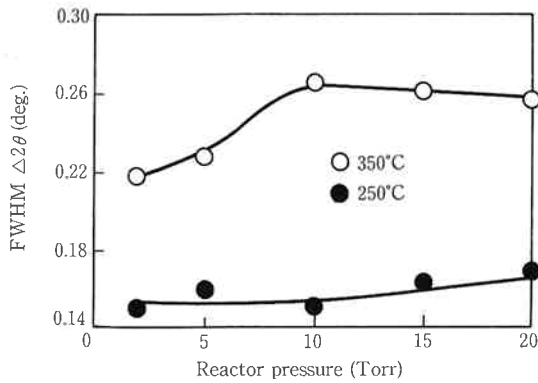


Fig. 10 FWHM of cubic (111) plane of ZnS films as a function of reactor pressure. ($VI/II=5.4$)

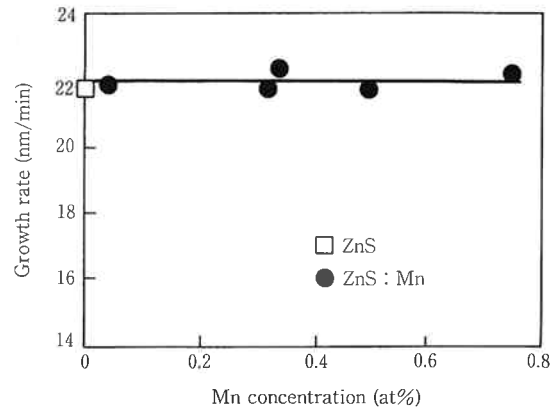


Fig. 12 Growth rate of ZnS:Mn films as a function of Mn concentration. ($T_{\text{sub}}=200^{\circ}\text{C}$, $P_w=2$ Torr, $VI/II=5.4$)

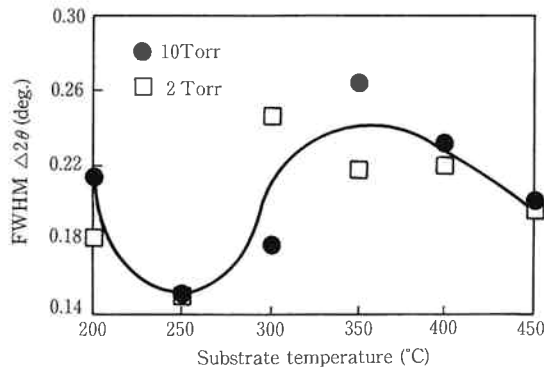


Fig. 11 FWHM of cubic (111) plane of ZnS films as a function of substrate temperature. ($VI/II=5.4$)

以上より、本装置で作製した ZnS 薄膜の結晶性は主として作製時の基板温度に依存しておりその他のパラメーターには依存していないことが明らかとなった。そこで ZnS:Mn 薄膜の作製では、その標準作製条件を基板温度 200~250°C、反応圧力 2 Torr, VI/II 比 5.4 とし

た。

(2) ZnS:Mn 薄膜について

EL 素子の発光層である ZnS:Mn 薄膜の物理的特性及び電気光学特性の作製条件依存性を検討した。

BCPM バブラーを通るキャリアガスの流量を変化させ、その他の条件を一定として作製した ZnS:Mn 薄膜の Mn 濃度と成長速度との関係を Fig. 12 に示す。成長速度は Mn の有無やドーピング量に関係なく一定であり、BCPM を用いた Mn のドーピングが薄膜の成長速度に全く影響を与えないことが分かる。ZnS:Mn 薄膜の典型的な X 線回折パターンを Fig. 13 に示す。回折パターンには、ZnS 薄膜の場合と同様に立方晶でのみ帰属することのできる (200) 回折線が存在することから、本実験において作製した ZnS:Mn 薄膜の結晶系も立方晶であると考えられる。Mn 濃度と (111) 回折線の半値幅との関係を Fig. 14 に示す。半値幅は Mn

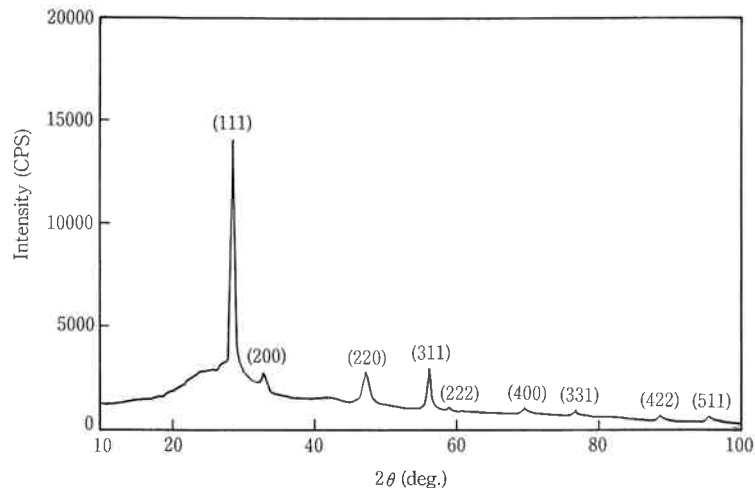


Fig. 13 X-ray diffraction spectra of ZnS:Mn film.
($T_{sub.}=200^{\circ}C$, $P_w=2$ Torr, $VI/II=5.4$)

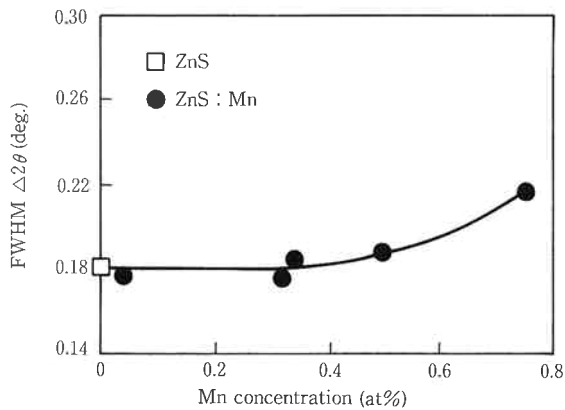


Fig. 14 FWHM of cubic (111) plane of ZnS:Mn films as a function of Mn concentration.
($VI/II=5.4$)

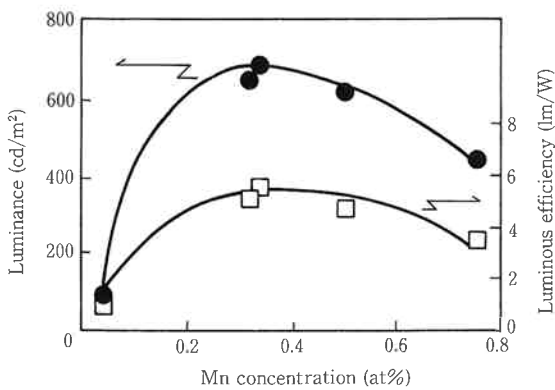


Fig. 15-(a) Luminance and luminous efficiency of ZnS:Mn TFEL devices as a function of Mn concentration. ($T_{sub.}=200^{\circ}C$, $P_w=2$ Torr, $VI/II=5.4$)

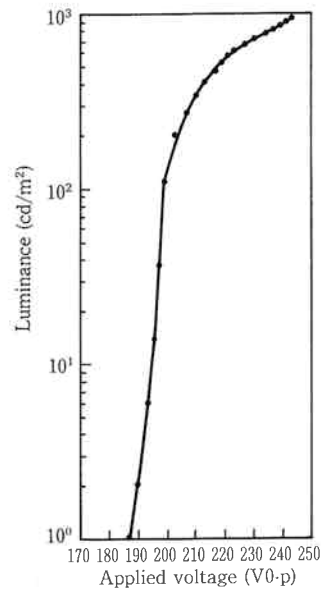


Fig. 15-(b) Luminance-Voltage characteristic of ZnS:Mn TFEL device.
($T_{sub.}=200^{\circ}C$, $P_w=2$ Torr, $VI/II=5.4$)

のドーピング量が 0.4 at% 以下では一定だが、それを越えるに従って増加する傾向にあり、ドーピング量の増加と共に結晶性が悪化していると考えられる。Mn 濃度

と発光輝度 (以下 L_{42} と略記) および発光効率 (以下 η_{42} と略記) の関係を Fig. 15-(a) に示す。 L_{42} および η_{42} はそれぞれ閾値電圧 (V_{th}) + 42V_{0-p} における発光輝度並びに発光効率である。 L_{42} および η_{42} はいずれも Mn 濃度 0.35 at% 付近で最大となり、最高輝度 680 cd/m² および最高効率 5.5 lm/W を示した。この様な Mn 濃度に対する発光輝度および発光効率の挙動は ZnS:Mn 薄膜を発光層とする EL 素子の一般的な傾向と一致する。Mn 濃度 0.35 at% 以下において輝度および効率が低下するのは発光中心 (Mn) の数が減少することにより発光層内を移動するホット電子が発光

中心と衝突する回数が減るためであり、Mn 濃度 0.35 at% 以上において輝度および効率が低下するのは濃度消光のためである¹²⁾。最大輝度を示したサンプルの印加電圧-発光輝度曲線を Fig. 15-(b) に示す。閾値電圧 (V_{th}) を越えると輝度は急俊に立ち上がっており、優れた発光特性を示している。

以上より、本装置で作製した ZnS:Mn 発光層は、Mn 濃度 0.35 at% 付近に最適値を持ち、前回報告した電子ビーム蒸着法により作製した発光層と同様の挙動を示した。Mn 濃度の最適値は薄膜の作製条件によって変化しないと考えられるため、以後の実験では Mn 濃度を 0.35 at% に設定した。

ZnS:Mn 薄膜作製時の反応圧力と (111) 回折線の半値幅との関係を Fig. 16-(a) に示す。半値幅は反応圧力に依存せずほぼ一定の値を示している。反応圧力と発光輝度および発光効率との関係を Fig. 16-(b) に示す。発光輝度および発光効率は反応圧力に依存せずほぼ一定の値を示しており、薄膜の結晶性と同様、反応圧力に依存

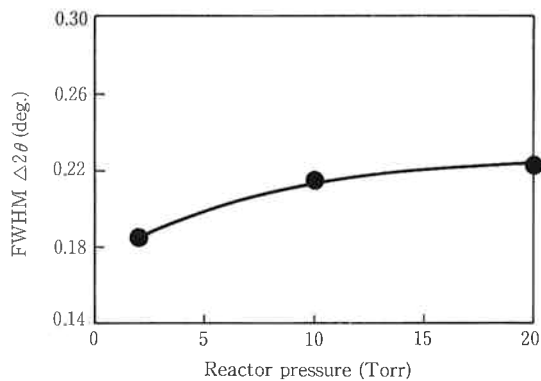


Fig. 16-(a) FWHM of cubic (111) plane of ZnS:Mn films as a function of reactor pressure. ($T_{sub.}=200^{\circ}\text{C}$, VI/II = 5.4)

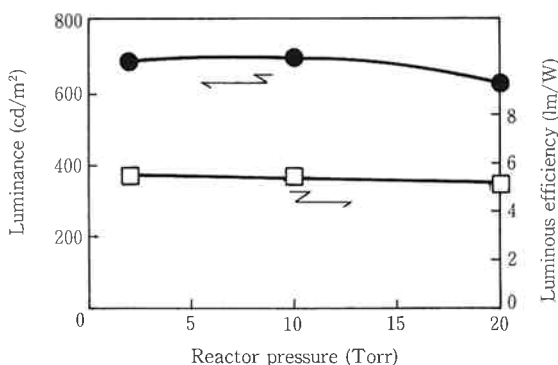


Fig. 16-(b) Luminance and luminous efficiency of ZnS:Mn TFEL devices as a function of reactor pressure. ($T_{sub.}=200^{\circ}\text{C}$, VI/II = 5.4)

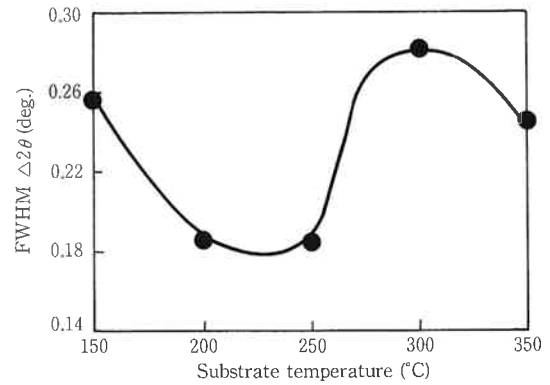


Fig. 17-(a) FWHM of cubic (111) plane of ZnS:Mn films as a function of substrate temperature. ($P_w=2$ Torr, VI/II = 5.4)

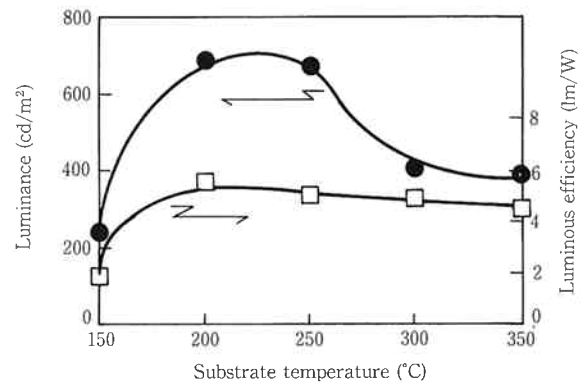


Fig. 17-(b) Luminance and luminous efficiency of ZnS:Mn TFEL devices as a function of substrate temperature. ($P_w=2$ Torr, VI/II = 5.4)

しないことを示している。基板温度と (111) 回折線の半値幅との関係を Fig. 17-(a) に示す。半値幅は Mn のドーピングにより若干大きくなるものの全体として ZnS 薄膜と同様の変化を示しており基板温度 200~250°C において結晶性の良い薄膜が得られることが分かる。基板温度と発光輝度および発光効率との関係を Fig. 17-(b) に示す。発光輝度および発光効率は基板温度 200~250°C において高い値を示しており、薄膜の結晶性の良い素子ほど高輝度を示している。

以上より Mn 濃度を最適化した場合、本装置で作製した ZnS:Mn 薄膜の結晶性は主として作製時の基板温度に依存しておりまた発光輝度および発光効率も同様の基板温度依存性を示すことから、結晶性の良い薄膜ほど高輝度を示すといえる。そこで 5 インチパネル作製時の ZnS:Mn 発光層の作製条件を基板温度 200°C、反応圧力 2 Torr, VI/II 比 5.4 とした。

〔3〕 Al₂O₃ 薄膜について

EL 素子の誘電体層である Al₂O₃ 薄膜の電気特性の作

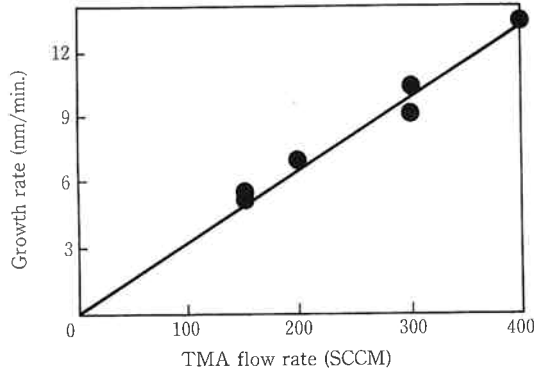


Fig. 18-(a) Growth rate of Al₂O₃ films at 400°C as a function of TMA flow rate.

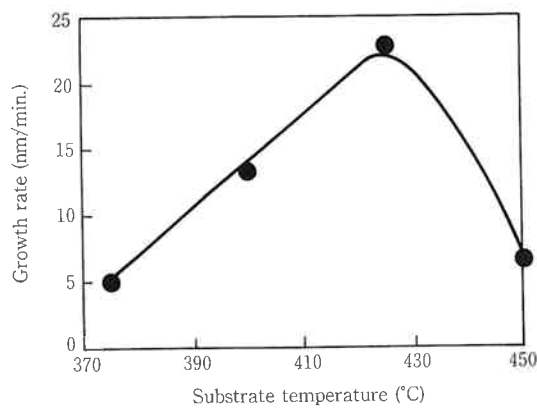


Fig. 18-(b) Growth rate of Al₂O₃ films as a function of substrate temperature.

製条件依存性を検討した。EL 素子の誘電体層には、電気容量が大きく誘電損失が小さく絶縁耐圧が高いことが望まれる。

基板温度 400°C における TMA 供給量と成長速度との関係を Fig. 18-(a) に示す。TMA 供給量と成長速度の間には原点を通る直線関係がある。この関係はその他の温度においても確認された。TMA 供給量を一定とし、基板温度を変化させて作製した Al₂O₃ 薄膜の基板温度と成長速度との関係を Fig. 18-(b) に示す。成長速度は基板温度 425°C において最大となり、その時の成長速度は 22.9 nm/min である。Al₂O₃ 薄膜作製時の基板温度と比誘電率 (以下 ϵ_r と略記) との関係を Fig. 19-(a) に示す。 ϵ_r は基板温度 400°C で約5と低い値を示すが、それ以外の温度では7~9の値を示す。パルクの Al₂O₃ の ϵ_r が7~9であると報告されていることから今回作製した薄膜は Al₂O₃ になっていると考えられる。基板温度と誘電損失 (以下 $\tan \delta$ と略記) との関係を Fig. 19-(b) に示す。バラツキはあるものの $\tan \delta$ は基板温度の上昇と共に低下する傾向にある。しかし $\tan \delta$ の値

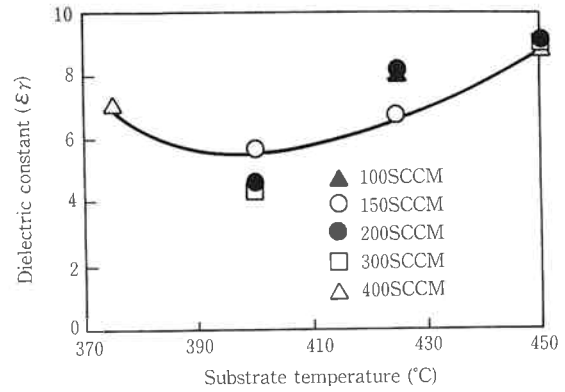


Fig. 19-(a) Dielectric constant of Al₂O₃ films as a function of substrate temperature.

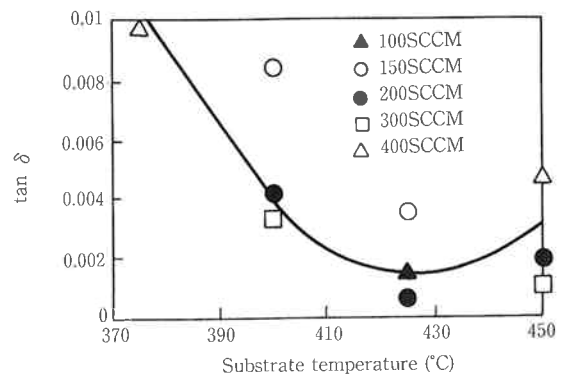


Fig. 19-(b) Dielectric loss of Al₂O₃ films as a function of substrate temperature.

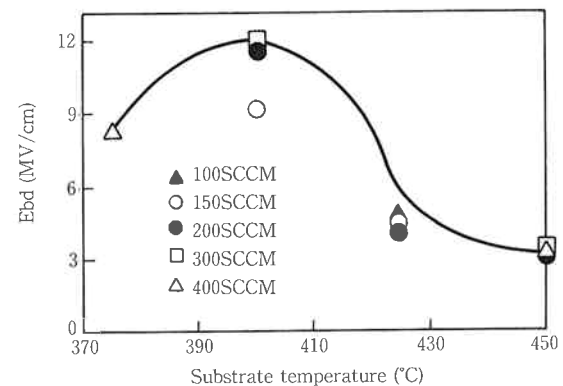


Fig. 19-(c) Breakdown field of Al₂O₃ films as a function of substrate temperature.

は、基板温度 375°C においても僅か0.01以下であり十分に小さな値である。基板温度と絶縁耐圧 (以下 E_{bd} と略記) との関係を Fig. 19-(c) に示す。基板温度が 400°C 以上では E_{bd} が極端に低下する。EL 素子の誘電体層としての性能は、電圧を印加した時にその誘電体層に蓄えられる最大電荷量 (以下 Q_{max} と略記) を用いて評価できる。基板温度と Q_{max} との関係を Fig. 19-(d) に示す。 Q_{max} は基板温度の上昇と共に低下する

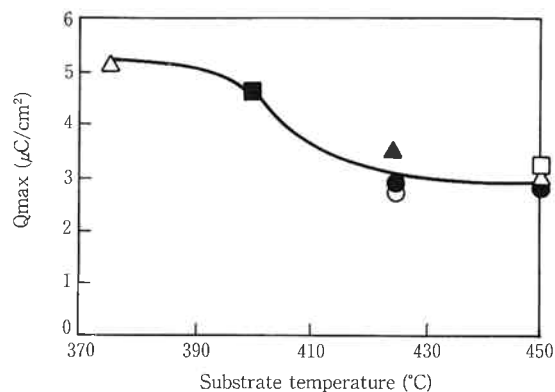


Fig. 19-(d) Maximum charge density of Al2O3 films as a function of substrate temperature.

Table 4 Comparison of EL characteristics between MOCVD device and PVD device.

Method	MOCVD	PVD
Dielectric layer	Al2O3	SiAlON/Al2O3
L_{42} (cd/m ²)	680	660
η^{42} (lm/W)	5.5	4.2

傾向にある。

以上より EL 素子の誘電体層としての性能および膜厚の制御性を考慮した場合、本装置による 5 インチパネル作製時の Al₂O₃ 誘電体層の作製条件としては基板温度 375°C が適当であると考えられる。

〔4〕 PVD 法と MOCVD 法の比較

MOCVD 法により作製した素子と、当研究室において前回開発した PVD 法作製の素子の発光輝度および発光効率を比較した結果を Table 4 に示す。MOCVD 法により作製した素子は、PVD 法で作製した素子に比べて発光輝度及び発光効率の点で優れている。

以上より、MOCVD 法を用いてアニール工程を省略した低温プロセスにより EL 特性に優れた素子を作製することができた。これにより、従来の EB 蒸着法とスパッタリング法を組み合わせた PVD 法では使用することができなかった安価なアルカリガラス基板を用いることができ、生産コストを低減できることが明らかとなった。

〔5〕 5 インチパネルの作製

発光層および誘電体層の作製条件を最適化して、5 インチ EL パネルを作製した。作製したパネルの発光特性を Table 5 に示す。作製した EL パネルはまだ膜厚分布に偏りがあることから若干不均一な発光を示す。しかし膜厚分布に関しては、リアクター内部の加熱系、冷

Table 5 EL characteristics of 5-in. -diagonal display.

Threshold voltage	170 V _{0-p}
L_{42}	480 cd/m ²
η_{42}	3.4 lm/W
Luminance distribution	73 %

却系等の構造および成長条件を更に検討することにより改善することができるので、輝度分布に優れたパネルを作製することは可能である。

4. ま と め

5 インチサイズ基板に DSD 連続成膜を行うことが可能な新たに開発した装置を用い、CVD 法の中でも EL 素子の作製に有利であると考えられる MOCVD 法による EL 素子の作製を行なった。その結果、以下の結論が得られた。

- 1) 今回採用した MOCVD 法は、比較的容易に EL 特性に優れた素子を得られる素子作製方法である。特に EL 特性は、前担当研究室において開発した PVD 法作製の素子よりも優れていることが明らかとなった。
- 2) 従来の PVD 法では必須であったアニール工程を必要としない低温プロセスにより、特性の優れた EL 素子を作製することができた。これにより安価なアルカリガラス基板を使用することが可能になり、生産コストを引き下げられることが明らかとなった。
- 3) DSD 連続成長による EL 素子の作製が可能となり、生産プロセスとして優位性のある方法である。
- 4) 本装置による EL パネルの作製により、従来困難であると考えられていた大面積化への対応が十分可能であることが確認された。

本研究を行なうにあたり、有機金属材料の供給および有機金属材料に関する御助言を頂きました東ソーアクゾ(株)開発部研究課長、中井秀一氏に感謝致します。

文 献

- 1) T. Matsuoka et al.; *Jpn. J. Appl. Phys.*, 27(8), 1426 (1988)
- 2) H. Ohnishi et al.; *SID Symp. Tech. Dig.*, 238 (1987)
- 3) K. Hirabayashi et al.; *Jpn. J. Appl. Phys.*, 24(11), 1484 (1985)
- 4) N. Mino et al.; *Jpn. J. Appl. Phys.*, 24(5), L383

(1985)
 5) R. Törnqvist; *J. Cryst. Growth*, **59**, 399 (1982)
 6) T. Suntola et al.; *Ann. Rev. Mater. Sci.*, **15**, 177 (1985)
 7) K. Shibuya et al.; *Tosoh kenkyu Houkoku*, **34**, 127 (1990)
 8) T. Mitsu et al.; *Tosoh kenkyu Houkoku*, **35**, 31 (1991)

9) M. Migita et al.; *J. Cryst. Growth*, **93**, 686 (1988)
 10) P. J. Wright et al.; *J. Cryst. Growth*, **59**, 155 (1982)
 11) V. P. Tanninen et al.; *Thin Solid Film*, **109**, 283 (1983)
 12) 蛍光体同学会; “蛍光体ハンドブック”, 78 (オーム社) (1987)



著者

氏名 高原 俊也
 Toshiya TAKAHARA
 入社 昭和61年4月1日
 所属 研究本部
 新材料研究所
 第二研究室
 副主任研究員



著者

氏名 遠藤 三男
 Mitsuo ENDO
 入社 昭和61年7月16日
 所属 研究本部
 新材料研究所
 第二研究室
 主任研究員



著者

氏名 千葉 和幸
 Kazuyuki CHIBA
 入社 昭和63年4月1日
 所属 研究本部
 新材料研究所
 第三研究室
 副主任研究員



著者

氏名 近藤 昭夫
 Akio KONDO
 入社 昭和51年4月6日
 所属 研究本部
 新材料研究所
 第二研究室
 室長