

有機薄膜を用いた光機能素子応用に関する研究

Application of Organic Thin-Films to Optoelectronic Devices

鎌田 憲彦*、照沼 大陽
Norihiko Kamata*, Daiyo Terunuma

埼玉大学 大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

Abstract

New soluble polysilane copolymers which were made up of diphenyl and dimethylsilylene segments, were prepared successfully by condensation reaction of 1,5-dilithiodecaphenylpentasilane and the corresponding α , ω -dichloropermethyl oligo-silanes. The polysilane copolymers showed emission in a near-ultraviolet region. As an application of organic thin-film devices, we fabricated 2-(4-biphenyl)-5-(4-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazole(PBD)/ poly(9,9-di-n-octylfluorenyl-2,7-diyl)(PFO) layers by wet process and attained higher emission efficiency under lower operating voltage.

Keyword : Polysilane, Polysilane copolymer, Electron transport layer, Organic EL, Photoconductor

1. 研究の目的

光導電性有機薄膜は、優れた波長選択性に加えて薄型軽量であり、次世代高精細カメラ用の撮像膜として注目されている。特に R、G、B3 原色の選択撮像を積層構造で実現できれば、高精細かつ小型軽量なカメラとして多様な現場撮影に機動的に対処でき、放送取材に及ぼす影響は大きい。これは現在のプリズムを用いた 3 素子型高精細撮像カメラの撮像仕様を、普及型撮像カメラの小型軽量を保ちながら実現することに他ならず、有機薄膜の利点を最大限に活かした **challenging** なテーマである。

有機の光機能素子としては、有機 EL の開発が先行しており、既に実用化の領域を拡大しようとしている。言うまでもなく有機撮像素子は有機 EL とは異なるが、分子の選択と積層法、キャリア走行や電極/有機薄膜界面の高品質化、封止の問題等、共通な技術基盤も多い。これらの用途に用いられる有機分子には、大別すると分子量の低い蛍光色素や金属錯体などのいわゆる低分子系と、 π 共役ポリマーや色素を高分子化した色素含有ポリマーなどのポリマー系がある。以前は低分子系のほうが性能的に優れていたが、現在ではポリマー系でも効率、素子寿命とも低分子系に勝るとも劣らない特性を得ることができるようになった。ポリマー系は低分子系に比べ、分子設計の自由度が大きく、また物理的、化学的、熱的安定性が優れているという点がある。また、成膜するとき、スピコートや塗布で成膜可能であり、成膜の容易さ、コスト面でも優れているので、現在実用化に向けて大きな注目を集めている。

ポリシランは主鎖の σ 電子が主鎖方向に沿って非局在化しており、有機ポリマーとしては高いホール移動度 ($\sim 10^{-4} \text{cm}^2/\text{Vs}$)、また直接遷移型で高い振動子強度を持っている。可溶性で塗布も容易なものが多く、さらにケイ素系であることから Si 基板や SiO_2 等との整合性に優れるため、受光/発光機能性薄膜材料として期待されている。ここではジフェニル系ポリシランの可溶化、およびウェットプロセスでの多層構造の塗り分けに関する基礎的検討を行った。

2. ジフェニル系ポリシランの可溶化

2.1 デカフェニルシクロペンタシランの重縮合による可溶化

ポリシランの光学特性はそのコンホメーションの影響を大きく受ける。ポリシランのコンホメーションはケイ素上の置換基によって変化するので、適切な側鎖の選択により発光波長の制御が可能となる。側鎖が全て直鎖アルキル基のポリシランは代表的には 7/3 ヘリックスコンホメーション (ケイ素が7つで主鎖が3回転らせんをまく) をとり、UV 吸収極大 λ_{max} は 300~315 nm となる。芳香環が1個置換すると Si-Si 結合の σ 軌道と芳香環の π 軌道との σ - π mixingにより 20~30 nm 長波長シフトする。芳香環が2つ置換したポリジフェニルシランはさらに約 50 nm も長波長にシフトし 400 nm に UV 吸収を示す。この大きなシフトは σ - π mixingのみではなく、Si 主鎖がオールトランスコンホメーションに固定されるからであると報告されている。

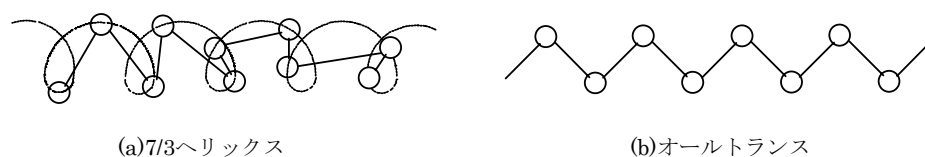
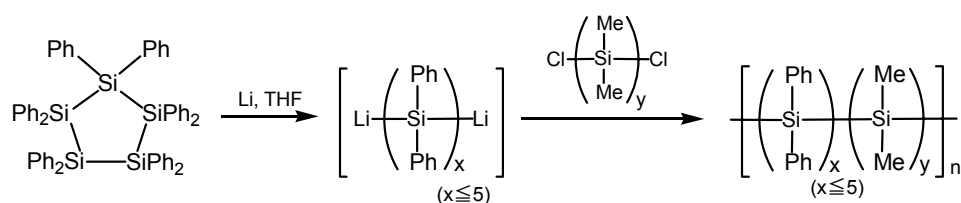


Fig. 1 ポリシラン主鎖のコンホメーション

このようにポリジフェニルシランのトランスに固定されたトランス構造はポリシランとしては長波長側での UV 吸収、可視領域での発光をもたらすが、一方で構造が剛直であるために不溶不融である。そのため加工処理をすることができず、最初に合成されてから長い間材料として評価されなかった。近年、両側または片側側鎖フェニル基上に長鎖アルキル基¹³⁾⁻¹⁵⁾またはアルコキシ基を導入することで可溶なポリジフェニルシラン誘導体が合成できることが報告された。これらはポリジフェニルシランの光学特性を維持しつつ加工処理が可能であるため、現在その応用が期待されている。しかしその合成法において、反応に手間がかかる、モノマーの段階において精製が困難であるといった欠点も持ち併せている。

本研究では異なる手法によるジフェニル系ポリシランの可溶化を考え、原料としてデカフェニルシクロペンタシラン(DPCPS)を用いた重縮合反応を試みることにした(Scheme 1)。



Scheme 1

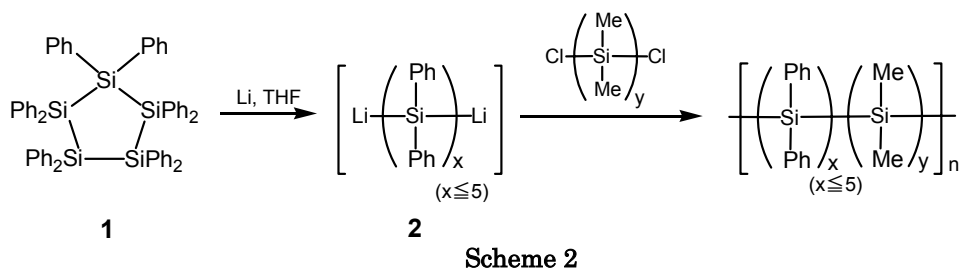
この手法はこれまで報告されているフェニル基上への修飾とは異なり、主鎖上のケイ素の一部にアルキル基を導入し固定化されたトランスコンホメーションに変化を与えることで構造の柔軟化を図るものである。得られるポリシランは連続したジフェニルシリレン部位を有するのでトランスコンホメーションが維持されていることが期待される。またこの手法は新たな構造を有するポリシランの新規合成法という点で非常に興味深い。ポリシランの合成法については様々な研究がなされているが未だにあらゆる条件を満足させるような合成法は見つかっていない。今回用いた合成法は、原料の DPCPS が入手容易である、反応条件が穏やかであった利点があり有力な合成法になることが期待される。

これまでに $y=1$ のジクロロジメチルシランと $y=2$ のジメチルテトラメチルジシランを用いた共重合反応を行った。しかし、 $y=1$ の場合、得られた主生成物は副反応による環状化合物であり、 $y=2$ の場合、生成したポリシランの高分子部分は溶媒に不溶であった。そこで本研究では副反応を抑制し、高分子ポリシランの溶解性を向上させるために $y \geq 3$ のジクロロ体を用いた反応を行うことにした。

2. 2 ジクロロ体の合成結果と考察

(1) α, ω -ジクロロパーメチルオリゴシランの調製

本研究で行う反応はデカフェニルシクロペンタシラン **1** の開環により生成するジリチオ体 **2** とケイ素鎖を主鎖とするジクロロ体との共重合反応であるが(Scheme 2)、用いるジクロロ体の種類により共重合の反応性、さらには生成するポリシランの物性にも影響が現れるためその選択が重要になってくる。ジクロロ体の置換基による影響にも興味をもたれるが、本研究ではジクロロ体のケイ素数(y)が反応やポリシランの物性に与える影響を調べることを目的とし、オリゴシランの合成上容易である全メチル置換のジクロロ体を用いて検討を行うことにした。

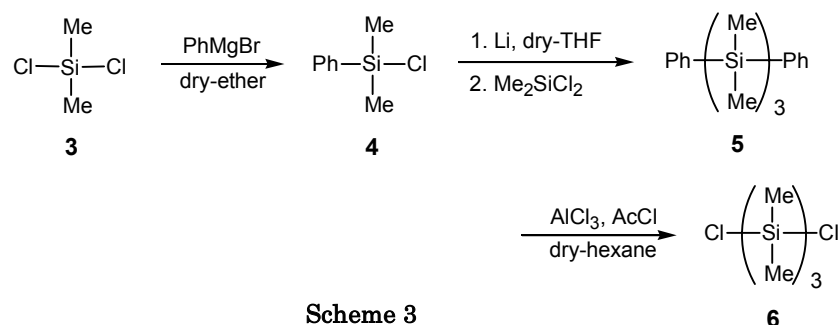


これまでの研究では、 $y=1$ の場合、反応過程において副反応である反応中間体の分子内環化反応が優先して起きてしまい高分子ポリシランを得ることができなかった。この場合ケイ素の六員環化合物が形成しやすいのが原因であると考え、ケイ素数が2のジクロロ体を用いたところ、ある程度環化反応を抑制することができ分子間の重縮合反応による高分子ポリシランを得ることができた。しかし、その高分子ポリシランは一部有機溶媒に不溶であった。この結果は未だにポリシラン側鎖におけるフェニル基の組成比が高く、構造が剛直であることを示唆しており、溶解性の改善が不十分であることが明らかとなった。

そこでさらなる柔軟化を図るためにはポリシラン側鎖のフェニル基の組成比をさらに低くすることが必要であると考え、より長鎖のジクロロ体を用いることにした。そうすることにより構造の柔軟化だけではなく、副反応の環化反応も抑制されることが期待される。ジクロロ体の前駆体となる α, ω -ジフェニルペルメチルオリゴシランの合成上の容易さから、ケイ素数が3、6のジクロロ体を用いることとした。

(2) 1,3-ジクロロヘキサメチルトリシランの調製

Scheme 3 に示すように 3 段階の反応による 1,3-ジクロロヘキサメチルトリシランの合成を試みた。

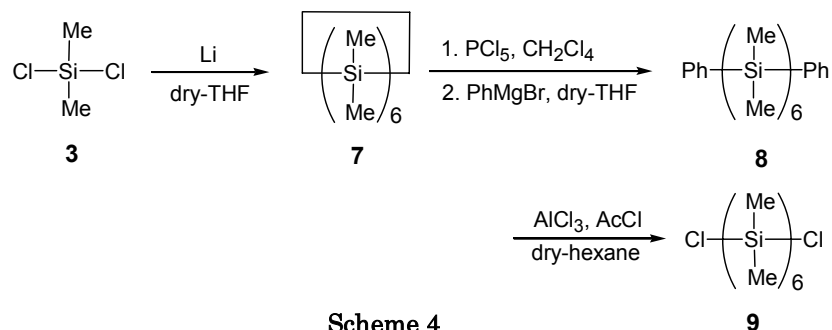


Scheme 3

ジクロロジメチルシラン **3** を出発物質としグリニャール反応により最終的にクロロ化の際必要となるフェニル基を導入し **4** を得た。**4** から **5** への反応では反応過程において 1,2-ジフェニルテトラメチルジシランが生成するが、マグネティックスターラーによる攪拌ではケイ素-ケイ素結合の開裂の進行が不十分であったため 30 分超音波処理をしたところ開裂は十分に進行し、その後ジクロロジメチルシランと反応することで前駆体となる **5** を合成した。その後塩化アルミニウム、塩化アセチルを用いた脱フェニルクロロ化反応により **6** を調製した。反応終了後、精製は余剰の塩化アセチルを留去するのみとし、上澄み液中に存在する **6** をそのまま重縮合反応に用いることにした。その際、その上澄み液から一定量取出し 0.1 N 水酸化ナトリウム水溶液で滴定を行うことでこの上澄み液中の **6** のモル濃度を求めた。

(3) 1,6-ジクロロドデカメチルヘキサシランの調製

Scheme 4 に示すように 3 段階の反応による 1,6-ジクロロドデカメチルヘキサシランの合成を試みた。



Scheme 4

ジクロロジメチルシラン **3** を出発物質とし、リチウムとの縮合反応により六員環化合物 **7** を得た。その後五酸化リンを用いて開環し、続くグリニャール反応によりフェニル基を導入し、前駆体となる **8** を合成した。その後は 1,3-ジクロロヘキサメチルトリシランの場合と同様に脱フェニルクロロ化反応¹⁹⁾を行った。**9** のヘキサン溶液も滴定でそのモル濃度を求めた。

2. 3 共重合ポリシランの合成

(1) 共重合反応によるポリシランの合成

合成したケイ素数が 3、6 のジクロロ体を用いて共重合反応によるポリシランの合成を行った (**Scheme 5**)。これまでの研究より **1** の開環反応は反応時間が短いと原料が残ってしまい、また長

いとさらなるケイ素鎖の開裂が生じてしまうことが分かっており、2.5 時間の反応時間で $x=5$ のジリチオ体 **2** が約 70%の生成することを確認している。今回もその反応時間で開環反応を行った。生成した **2** のモル濃度を 0.1 N 塩酸水溶液による滴定で求め、等モルの **6** または **9** のヘキサン溶液を滴下し室温で一晩反応した。反応終了後、得られた粗生成物を再沈殿により精製したが、この際未反応の **1** を完全には取り除くことができなかった。再沈殿後の収率と分子量分布をこれまで行った $y=1, 2$ の場合と合わせて **Table 1** に示す。

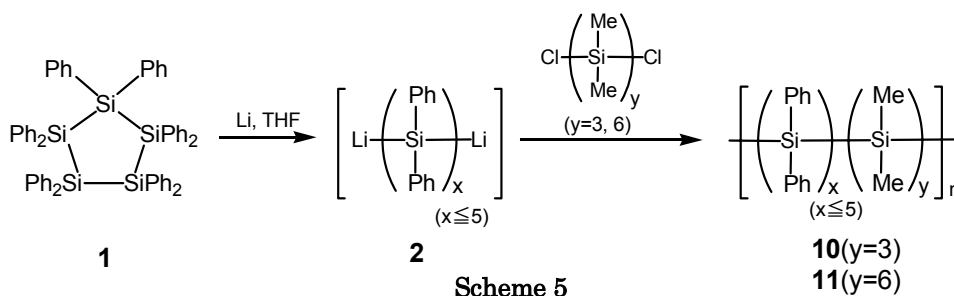


Table 1

y	ジリチオ体 2 (mmol)	ジクロロ体 (mmol)	再沈殿後の収率 (%)	M _w * (× 10 ⁻³)
1	1.11	1.11	37.5	1.3(33%), 0.5(67%)
2	1.32	1.32	31.8	2.2(70%), 0.4(30%)
3	0.33	0.33	33.7	3.5(90%), 0.4(10%)
6	0.42	0.42	67.5	6.1(86%), 0.3(14%)

*GPC(THF, Polystyrene standard)

(2) 共重合ポリシランの分子量分布

再沈殿後の化合物の分子量分布を **Fig. 2** に示す。 $y=1$ のときは環状化合物が多く生成し、 $y=2$ のときはその環化反応を抑制できたことは先に述べたが、今回の $y=3, 6$ ではさらに低分子領域のピークが減少し反応中間体の分子内環化反応を抑制できていることが分かる。さらにその低分子領域の化合物をリサイクル HPLC で分取し構造を解析したところ、未反応の **1** であったことからジクロロ体のケイ素数を増やすことで完全に環化反応を抑制できることが明らかとなった(**Fig. 3**)。

その結果、 $y=3, 6$ の場合はいずれも分子間の重縮合反応により高分子ポリシランが多く生成していることが確認できた。また、両者を比較すると 5 よりも 6 の方が分子量の大きいポリシランができていることが分かった。この原因としては単純にジクロロ体のケイ素数の差が影響しているとも考えられるが、生成するポリシランの溶解性にも原因がある可能性も否定できない。すな

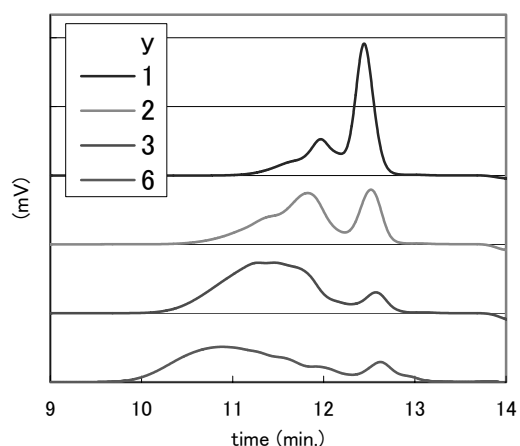
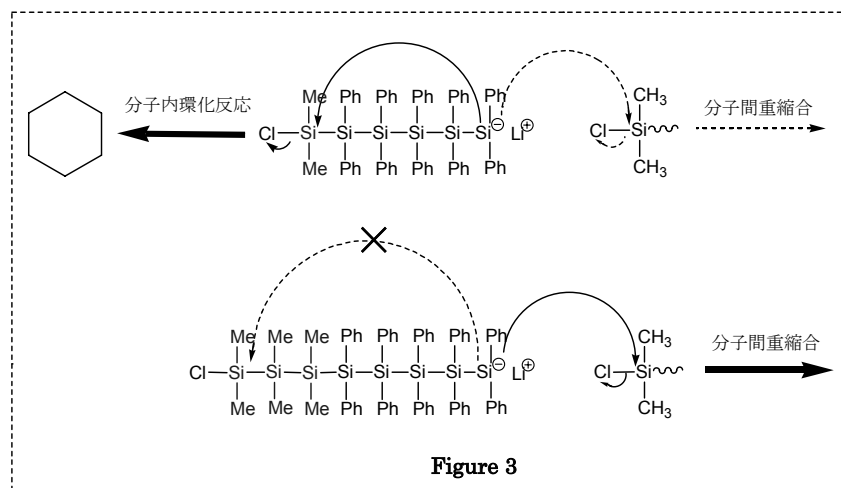


Fig. 2 再沈殿後の化合物($y=1, 2, 3, 6$)の分子量分布

わち、 $y=6$ の生成物は高い溶解性を示したのに対して、 $y=3$ の場合一部溶媒に不溶なものが存在した。 $y=3$ のとき生成するポリシランは依然としてフェニル基の組成比が高く剛直であるため、重合度が増すにつれて溶解性が減少し重合が起きにくくなってしまふと考えられる。一方、 $y=6$ のとき生成するポリシランは十分に剛直性が改善されており、重合度が上がっても溶解性が低下しなかったと考えられる。



2. 4 共重合ポリシランの物性評価

今回の合成法では再沈殿で精製しても原料のデカフェニルシクロペンタシランが残ってしまうという結果となった。そこで再沈殿により得られた生成物の高分子部分をさらにリサイクル分取 HPLC で分取し、その物性評価を行った。 $y=2, 3$ の生成物に関しては一部不溶であったためシリンジフィルター(Pore size $0.2 \mu\text{m}$)を通過したものをリサイクル HPLC で分取し評価した ($y=1, 2$ の高分子ポリシランをそれぞれ **12**、**13** とする)。その結果を **Table 2** に示す。 $^1\text{H-NMR}$ におけるフェニル基の積分値から、環化反応が優先して起きた $y=1$ の場合を除き共重合ポリシランの x の値はほぼ5になっていることが分かった。また、それぞれの分子量 M_w から重合度 n を算出した。 $y=2$ 以上であればポリシランの性質を発現するには十分な重合度であったが、 $y=2, 3$ に関しては高分子ポリシランの収率が低いうえに溶解性も低いものであった。一方、 $y=6$ は高分子ポリシランの収率が24%と他に比べ高く、さらには溶解性も高かった。この結果から今回の反応で溶解性、分子量のどちらも満足させるポリシランを得るためには長鎖のジクロロ体をもちいることが必要であることがわかった。また、全てのポリシランは IR スペクトルにおいてシロキサン結合に由来する吸収がまったく観測されなかったため、今回行った重縮合による合成では良質なポリシランが得られることがわかった。

ポリシラン **13(2)**、**10(3)**、**12(6)** の UV 吸収スペクトルを **Fig. 4** に示す。**11(6)** の吸収極大波長 λ_{max} は **13(2)**、**10(3)** と比較して短波長側となった。側鎖が全てフェニル基であるポリジフェニルシランは約 400 nm に吸収極大を示し、これは構造がオールトランスになっているため共役系が広がっているためであることが知られている。これらの結果から、**11(6)** の構造はフェニル基の組成比が減少することでトランス構造が若干崩壊しまったと考えられる。一方で **11(6)** のモル吸光係数は最も大きくなった。この値は **11(6)** の十分な重合度をもたらしていると考えられる。

Table 2

化合物(y)	x	n	Yield (%)	Mw*($\times 10^3$)	Mn/Mw*	λ max	ϵ ($\times 10^3$)	溶解性
12(1)	3.1	12	4.1	1.9	1.1	—	—	高
13(2)	4.5	26	4.3	3.7	1.2	352	6.5	低
10(3)	4.9	36	6.5	5.0	1.2	350	5.8	低
11(6)	5.0	88	24.0	10.6	1.2	343	6.6	高

*GPC(THF, Polystyrene standard)

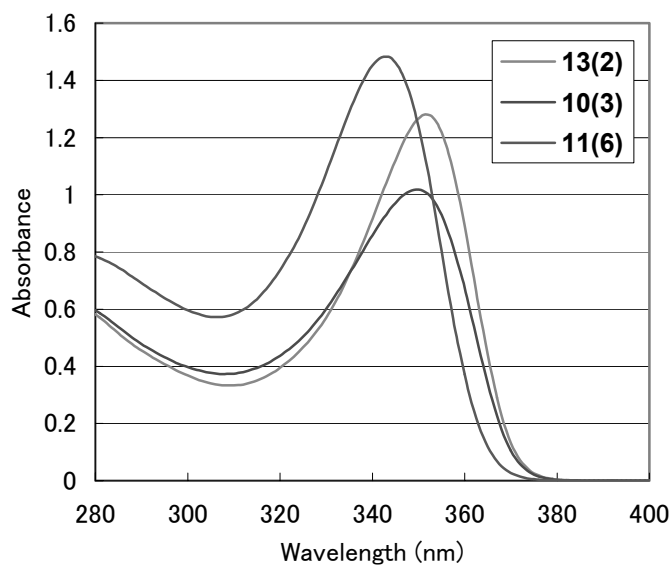


Fig. 4 13(2)、10(3)、11(6)のUVスペクトル
(in CHCl_3 at r.t., $2.0 \times 10^{-4}\text{M}$)

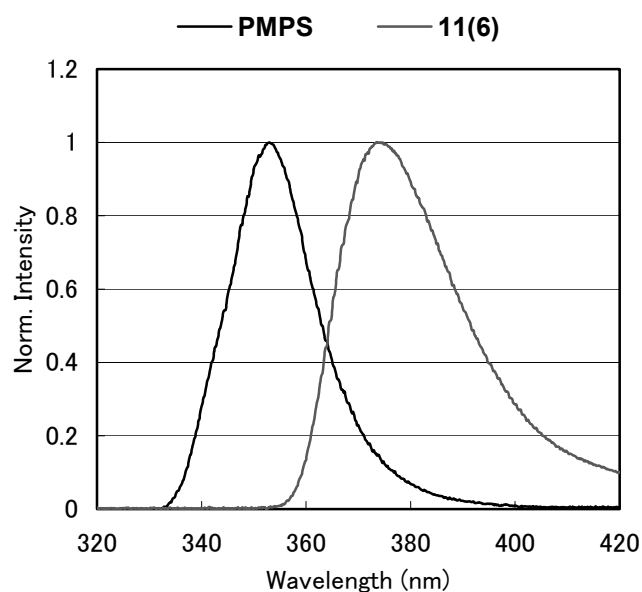


Fig. 5 PMPS(Ex. 340 nm)と11(Ex. 350 nm)のPL
スペクトル (in CHCl_3 at r.t.)

今回合成した **11(6)**は近紫外領域($\lambda_{\max}=374$ nm)で発光を示した。この発光波長は側鎖の片側にフェニル基を有するポリメチルフェニルシラン(PMPS, 353 nm)と比較するとはるかに長波長側であった(**Fig. 5**)。PMPS のメチル基とフェニル基の割合は 1 : 1 であり **11(6)**よりもポリシラン中のフェニル基の割合が高い。それにも関わらずこのような結果になったことから両者には構造の違いがあることが分かり、連続したジフェニルシリレン部位をもつ **11(6)**はトランス構造を含むポリシランであることが示された。

以上の結果から今回の合成法では、共重合反応に用いるジクロロ体として長鎖のオリゴシランの調製が必要、精製が再沈殿だけでは不十分といった問題点こそあるが、穏やかな反応条件で近紫外領域に発光を示す良質なポリシランを得ることができていることが明らかになった。

3. ウェットプロセスでの積層化

3. 1 塗布による Ga 錯体電子輸送層の形成

有機光機能素子の共通基盤技術として、ウェットプロセスによる積層化を試み、電子輸送層を含めた積層型ポリフルオレン高分子 EL 素子の作製を試みた。一般の導電性、発光性高分子では、正孔移動度に比べて電子移動度は一桁から二桁小さいものが多い。このため塗布型 EL でキャリアバランスを向上させるためには、電子輸送層の導入とその塗り分けを含めて、電子移動度の高い材料の選択と成膜が重要な要素となる。有機撮像素子においても、3 原色選択撮像、また暗電流の低減策として、こうした積層化技術は有効と考えられる。

高分子系有機 EL では、水溶性の正孔輸送層 (PEDOT:PSS) 上に溶媒可溶の発光性高分子をスピコート法で成膜した 2 層型の素子が一般的である。このため発光層として poly(9,9-di-n-octylfluorenyl-2,7-diyl) (PFO) を用いた PEDOT:PSS/PFO 二層型 EL 素子を土台とし、これに電子輸送層として Ga 錯体 bis-(8-hydroxyquinoline)gallium pivalate(Gaq₂OPiv)を加えた 3 層の積層構造を検討した。

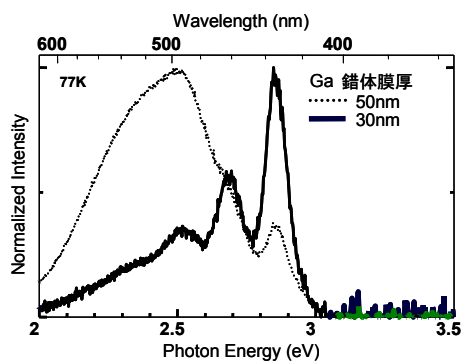


Fig. 6 Ga 錯体の膜厚変化に対する EL スペクトル

ITO 透明電極つきガラス基板上に PEDOT:PSS 水分散液を滴下、スピコート成膜し (50nm)、その上に PFO のキシレン溶液 (2wt%) を滴下、スピコート成膜した (50nm)。次に Ga 錯体のメタノールまたは 1-ブタノール溶液 (1wt%) をスピコートして電子輸送層を成膜したところ、1-ブタノール溶液を用いた方が高い均一性が得られた。PFO は疎水性で、さらにアルコール不溶のため、この方法で 3 層が塗り分け可能である。

この 3 層構造に LiF (5nm) /Al (150nm) を順次真空蒸着して EL 素子を作製し、真空中 77K で EL スペクトルを観測した。Ga 錯体が 50nm と厚い場合は Ga 錯体自体の発光が支配的となるが、

30nm ではほぼ PFO のみとなることが確認された (Fig. 6)。これから発光層/電子輸送層の塗り分けができ、また膜厚によってキャリア再結合位置を界面から発光層 (PFO) 側に設定可能であることが示された。

今回の 3 層構造素子と電子輸送層を積層していない 2 層構造素子との I-V 特性を比較すると、3 層構造の方が発光開始電圧は高かった (Fig. 7)。電子輸送層の挿入のため膜厚が厚くなり、印加電圧が高くなったためと考えられ、まだ電子輸送層に改善の余地があることがわかった。

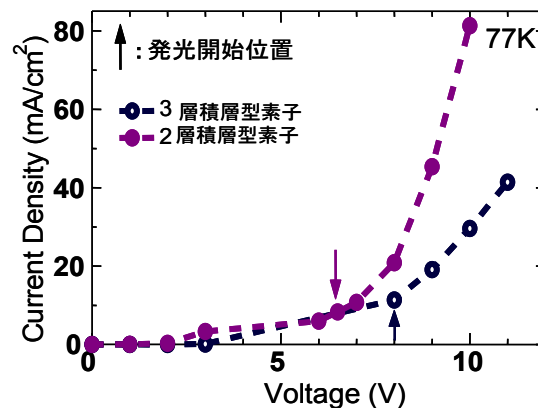


Fig. 7 I-V 特性

3. 2 PBD 電子輸送層の試作

Ga 錯体に続き 2-(4-biphenyl)-5-(4-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazole (PBD) を電子輸送層に試用した。ガラス/ITO 電極上に PEDOT:PSS を 80 nm(2000rpm, 60s)の膜厚でスピコートし、窒素内にてアニール処理を 200°C で 10 分行った。その上に発光層である poly(9,9-di-n-octylfluorenyl-2,7-diyl) (PFO) をトルエン溶液に 2 wt%濃度で作製した後、70nm(2500rpm, 60s)でスピコートした。真空保存後、発光層である PFO の上に電子輸送層であるを 2-エトキシエタノール溶液に 1wt%濃度で作製した後、20 nm (3500rpm, 60s)の膜厚で積層させた。形成された有機薄膜の陰極として LiF (1 nm)、Al (100 nm) を真空蒸着させ素子を作製した。

Fig. 8 は PL スペクトルと PLE スペクトルを示したもので、PFO の PL ピークは (a) のように 438 nm、PBD の PL ピークは (b) の 378 nm であった。また PFO の PLE ピークは 378 nm 付近に見られ、PBD の PL ピークと重なることが分かる。そのため、電子輸送層である PBD から発光層である PFO へのエネルギー移動が考えられる。実際に確かめるため、PFO と PBD をトルエン溶液に 2 wt% (70%, 30%) で混合させ PL・PLE スペクトル測定したものが (c) である。PBD のスペクトルが消失しており、PFO へのエネルギー移動が示されている。そのため、本研究の目的である積層構造でエネルギー移動が起こることも考えられるが、実験過程において電子輸送層が発光層を再溶解させないように材料と溶媒の選択を行った。積層させた PL・PLE スペクトルが (d) であるが、PBD と PFO の PL ピークがそれぞれ現れているため、PFO と PBD でエネルギー移動しないだけの分子間距離が保たれていると考えられ、発光層と電子輸送層でヘテロ界面が形成できたと考えられる。つまり、積層構造が実現されており、電子輸送層としての PBD から発光層である PFO への電子輸送が期待できる。

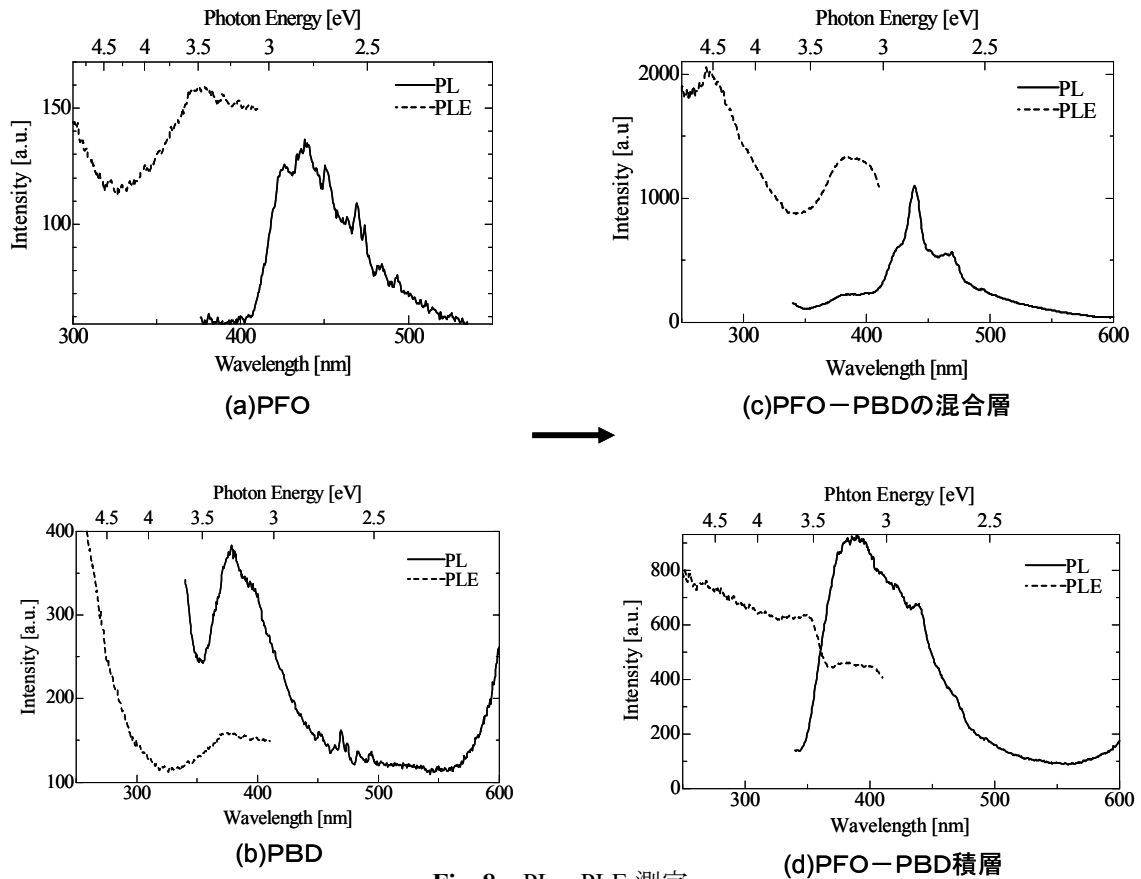


Fig. 8 PL・PLE測定

Fig. 9 は積層型と電子輸送層を持たない二層型の EL スペクトルを比較したものである。積層型は二層型に比べて大幅に EL 強度に違いが見られ、電子輸送層の挿入によるキャリアバランスの改善が成されている。

Fig. 10 はそのときの I-V 特性であるが、積層型は輝度が高くなったとともに、二層型に比べ低電圧駆動となった。PFO は $4.0 \times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{Vs}$ の正孔輸送性を有しているが、電子輸送性は分散傾向にあるため電子輸送性は有していない。PBD は $1.9 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{Vs}$ の電子輸送性を有しており、積層構造により PFO からの正孔と PBD からの電子が効果的に衝突し再結合した結果、低電圧化と輝度の上昇が顕著に見られたと考える。

発光開始電圧も積層型は 7V で二層型は 14V であり、早い段階での再結合に起因していると推測される。従来の研究ではウェットプロセスによる電子輸送層の効果は確認できず、発光も陰極の Al との界面で発光したため劣化が激しく低輝度であった。

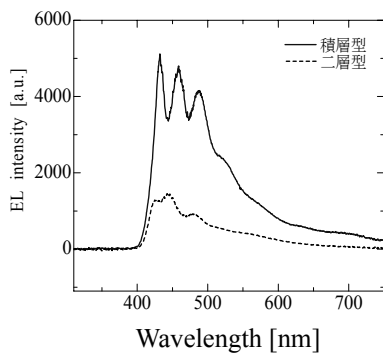


Fig. 9 積層型と二層型素子の EL スペクトル；19V、24V 印加時

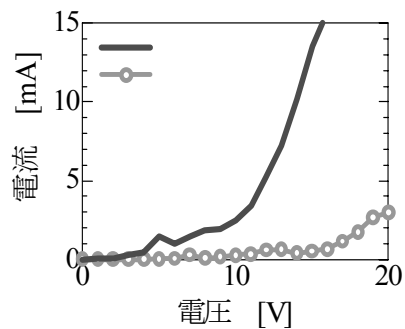


Fig. 10 積層型 (赤) と二層型素子 (橙) の I-V 特性

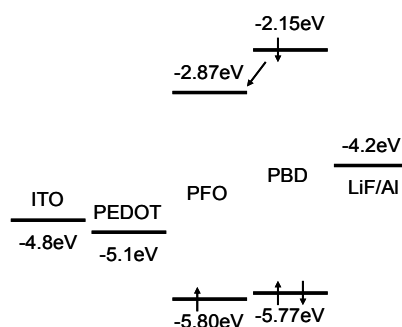


Fig. 11 作製素子の仕事関数

Fig. 11 は素子の仕事関数を示したものであるが、電子輸送層の PBD は LUMO 準位が -2.15eV 、発光層の PFO が -2.87eV なので、陰極から注入された電子が電子輸送層の LUMO 準位を移動した後、発光層へ比較的容易に入ることができる。PFO は正孔輸送性を持っているため、正孔と電子による再結合からの発光は PFO と PBD の界面で生じていると推測される。また PBD は電子輸送性を有していることから、PFO からの正孔が対極へ移動するのをブロックし、発光層と電子輸送層の界面で再結合して生じた励起子を閉じ込める役割を果たしていると考えられる。

従来の研究では発光領域が広く、さらに Al との界面であったため出力は小さいものであったが、積層構造にすることで発光層と電子輸送層の界面で電子と正孔の衝突が効果的に起こり、発光領域は狭まるが出力が上がったと考えられる。

3. 3 塗布による積層化の可能性

Ga 錯体、PBD を電子輸送層とする積層構造を試作し、エネルギー移動の観点から、ウェットプロセスによる電子輸送層までを含めた多層構造の形成が確認できた。スピンコート法を用いた積層型有機 EL 素子の作製プロセスが示され、他の有機材料を選択し応用することも可能と考えられる。

4. まとめ

原料としてデカフェニルシクロペンタシラン(DPCPS)を用い、全メチル置換のジクロロ体との共重合反応によって、可溶性で近紫外領域に発光を示す良質なポリシランを得ることができた。

また PBD を電子輸送層とする積層構造を試作し、発光効率、動作電圧の改善を実証した。これらの成果を基に、有機撮像薄膜の最適化、積層構造による素子化の可能性が拡大したと考えられる。

References

- 1) 第 11 回ケイ素化学協会シンポジウム, ポスター, 2006.11. (桐生)
乳井真吾, 幡野健, 松岡浩司, 鎌田憲彦, 照沼大陽, 発光物質 (ポリシラン、ペリレン) を封入したポリスチレン微粒子の調製と評価, 第 11 回ケイ素化学協会シンポジウム要旨集, [P59]
- 2) 第 11 回ケイ素化学協会シンポジウム, ポスター, 2006.11. (桐生)
大山直人, 幡野健, 松岡浩司, 鎌田憲彦, 照沼大陽, 機能性糖鎖で修飾した色素含有ゾルゲル微粒子合成 (1), 第 11 回ケイ素化学協会シンポジウム要旨集, [P65]

- 3) 第11回ケイ素化学協会シンポジウム, ポスター, 2006.11. (桐生)
高橋英記, 幡野健, 青木良夫, 松岡浩司, 鎌田憲彦, 照沼大陽, 側鎖に液晶分子を有するポリシランの合成 (IV), 第11回ケイ素化学協会シンポジウム要旨集, [P83]
- 4) 第11回ケイ素化学協会シンポジウム, ポスター, 2006.11. (桐生)
山崎徹也, 幡野健, 松岡浩司, 鎌田憲彦, 照沼大陽, 機能性糖鎖で修飾した色素含有ゾルゲル微粒子合成 (2), 第11回ケイ素化学協会シンポジウム要旨集, [P102]
- 5) M. Komoriya, A. Matsumoto, N. Kamata, H. Ohara, T. Yokoo and N. Kijima, Color Controllability of Polysilane-Based Electroluminescence Device, Proc. 13th Int. Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence and 2006 Int. Conf. on the Science and Technology of Emissive Displays and Lighting (Jeju, Korea, 18-22 Sept.), Tu3-5, pp. 40-41, 2006.
- 6) M. Komoriya, T. Iga, Y. Kawamoto and N. Kamata, Multilayered Electroluminescence Device by Wet Process, Proc. 13th Int. Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence and 2006 Int. Conf. on the Science and Technology of Emissive Displays and Lighting (Jeju, Korea, 18-22 Sept.), P-I-A13, pp. 90-91, 2006.
- 7) 山口廣信、鎌田憲彦、伊賀貴浩、河本雄二、小森谷光央、小原秀彦、横尾敏明、木島直人、導電性高分子/有機色素混合薄膜素子のEL特性、電子情報通信学会電子ディスプレイ研究会, EID2006-56, pp. 49-52, 2007.1.
- 8) 山口廣信、小森谷光央、鎌田憲彦、ウエットプロセスによるポリフルオレン/PBD-EL素子、応用物理学関係連合講演会 29p-P7-35(2007.3.29).