

10. 表示デバイス・システムの研究

直視型スーパーハイビジョンテレビの実現を目指したプラズマディスプレイ(PDP)や電界放出ディスプレイ(FED)、小型超高精細ディスプレイを目指した無機EL(Electroluminescence)デバイスと次世代蛍光体の研究に取り組んだ。また、将来の利便性に優れた携帯端末用のフレキシブルディスプレイや、立体ディスプレイを実現する空間光変調器の研究もこの分野の重要研究として進めた。

PDPの研究では、スーパーハイビジョン用PDPの実現で必要となる多画素・超高精細化のため、発光特性向上技術、安定駆動技術、微細パネル製作技術の開発に取り組んだ。特に、放電シミュレーションとプラズマ診断技術を用いた微細放電セル内の放電メカニズムの解明を通して超高精細化の可能性を検討した。封入ガス圧力を高めることで紫外線源となるキセノン(Xe)励起原子が効率良く生成することや、セル壁面での励起粒子の損失を抑制できることなど、高精細化に向けた定量的な知見が得られた。また、大画面化に伴い、パネル内の放電ばらつきを予測し安定な駆動に資することを目的に、放電シミュレーションと回路シミュレーション技術を組み合わせ、パネルの電気的特性と発光特性を解析する技術も開発した。2008年は、スーパーハイビジョンに向けた中間目標として、ハイビジョンの4倍の画素数(水平:3840×垂直:2160)をもち、対角103インチ、画素ピッチ0.59mmの高精細PDPを試作し、動画像表示に成功した。2009年は狭ピッチ化を進め、画素ピッチ0.33mmで対角58インチ超高精細PDPを試作して動画像表示に成功した。このほかに、安定駆動技術として複数行を一括して同時に駆動しアドレス時間の短縮化を図るなど、走査線数の増加に対応する駆動方式の検討や、画素の狭ピッチ化への対応を目指した隔壁や蛍光体層の形成条件を最適化するなど、パネル製作技術の開発を進めた。PDPの省電力化に向けた要素技術の開発では、発光効率向上に有利な放電形態を利用した新たなパネル構造や駆動方式の提案と、放電電圧の低電圧化に有効なパネル材料の研究などを進めた。パネル材料に関しては、低電圧化に関する理論的解析を進めるとともに、低電圧電極保護膜材料に酸化ストロンチウムカルシウム(SrCaO)を導入した小型PDPを試作して放電電圧の低減効果を実証した。

FEDの研究では、PDPと同様にスーパーハイビジョン用ディスプレイの実現を目指して冷陰極を用いたFEDの研究を行った。低真空でも安定な動作が期待されるグラファイトナノファイバーを冷陰極に用い、低電圧で均一性の良い電子放出を目指して成膜条件やエミッター構造の改善を進めた。これにより、画素ピッチ0.3mmの5インチカラーFED(320×240画素)を試作した。また、ビーム集束機構の検討を行い、これまでで最小画素ピッチ0.15mmとなる1.6インチ超高精細カラーFED(192×192画素)を試作した。

無機ELデバイスについて、材料開発と作製法を中心に研究を進めた。青色EL材料BaAl₂S₄:Eu薄膜について、超高真空を用いた多元蒸着法により、従来にない高結晶薄膜の作製に成功した。兵庫県にある高輝度放射光研究施設「SPring-8」で結晶構造解析を行い、成膜法とEuイオンの価数の関係を明らかにした。さらに、発光中心材料が100%のEL材料EuGa₂S₄やナノ結晶を発光層中に埋め込んだ構造のデバイスを開発した。一方、新しい作製法としてナノ粒子の塗布を試みてZnS:MnのELデバイスを作製した。さらに放送用モニターを想定した線幅14μmの無機ELデバイスを試作した。

次世代蛍光体の研究では、電子線、紫外線、電界で励起する新しい蛍光体の開発や蛍光体の発光・励起機構に関する研究を行った。新しい蛍光体としてZnS:Ce, Y(青)やSrGa₂S₄:Bi(緑)などを開発した。また、薄膜蛍光体の高電界下における励起機構について調べた。その結果、Euなどを添加したSrGa₂S₄などの3元化合物物において、従来の電子に代わりホールが励起に関与していることを初めて明らかにした。また、SrGa₂S₄を母体とする薄膜蛍光体の効率改善を進めた。これら薄膜蛍光体をCRTビューファインダーの蛍光面に適用した結果、表示映像の高解像度化が可能となりHDTV(ハイビジョン)基準を満たす900TV本の水平解像度を得

た。

フレキシブルディスプレイの研究は、薄くて軽く曲げられて持ち運びに便利な携帯端末ディスプレイを実現する目的で、表示機能を担うフィルム液晶素子や有機EL素子、それらを駆動する薄膜トランジスタ(TFT)の材料・素子研究に取り組んだ。フィルム液晶は、既存の液晶作製技術が応用できるため大画面化が容易であるという特長があり、動画に適した高速液晶とポリマーの複合膜でプラスチック基板を接着した素子の研究を行った。この素子は、印刷法と紫外線硬化工程で作製され、A4サイズまで試作した。また、フレキシブルバックライトを開発して、2008年には多結晶シリコンや有機半導体で構成するTFTを用いてフルカラーの動画表示を達成した。有機ELは、自発光で超薄型・軽量のフレキシブルディスプレイに有用である。有機ELの発光効率を向上させるため、リン光発光材料に特化した研究を進めた。さらに、大面積・高精細に対応可能な塗布系材料としてリン光性高分子材料を開発し、赤、緑、青3色で高い外部量子効率を実現した。その一方、インクジェット印刷法でそれらを塗り分けることで、フルカラー表示を可能にした。これらの表示デバイスを駆動するため、低温形成が可能で柔軟な有機半導体を用いたTFTの研究を行った。有機半導体に高誘電率の絶縁膜を用いることで、動作電圧を低減するとともに、単分子膜を用いて有機半導体の結晶性を改善し、移動度を向上させた。また、有機TFTの劣化メカニズムの解析を通して動作の安定性を高めた。2009年は、有機半導体を微細化できる隔壁構造を導入し、有機TFT駆動有機ELディスプレイ(Wide-QQVGA:213×120画素)を試作し、カラー動画表示を実現した。

空間光変調器の研究では、将来の立体テレビ放送サービスの実現に向けて、立体映像表示デバイスや大容量光記録用途の高精細・高速な空間光変調器の研究を行った。この空間光変調器はスピン注入磁化反転技術と磁気光学効果を組み合わせて動作させるもので、スピンバルブ多層膜を透明電極と金属電極で挟んだ構造のデバイスである。2006年に面内磁化の磁気光学材料を用いたサブミクロンサイズの単素子の作製を開始し、電流駆動による光変調動作を実証した。さらに、光変調度を向上させるため、磁気光学効果の大きな垂直磁化材料を用いた素子を開発し、磁気光学カー回転角0.23度を実現した。また、使用する材料や素子構造などの改良により駆動電流の低減化や素子のアレー化、光ポンププローブ法を用いた材料評価手法の開発などを進めた。

[時任 静士]

10.1 次世代プラズマディスプレイ

10.1.1 大画面・超高精細化技術

自発光・直視型のプラズマディスプレイ(PDP)は、動画像の表示特性が優れるとともに階調表示が自然であり、視野角が広いなどの特長がある。このためハイビジョンと同様にスーパーハイビジョン(SHV)用途にも有力な候補になる。しかしPDPは放電セルが微細になると一般に発光効率が低下し、消費電力が増大して実用化は難しいとされていた。そこで放電シミュレーション⁽¹⁾やプラズマ診断により、微細セル内の放電メカニズム解明から超高精細化の可能性について検討を始めた。

2002年にレーザー顕微分光法⁽²⁾による励起粒子の密度分布測定に着手するとともに、放電シミュレーション⁽³⁾による放電メカニズムの解明に取り組んだ。2003年には従来のセルピッチの約1/3となる画素ピッチ0.3mmの超高精細パネルを試作して解析を進めた。その結果、パネルに封入するガス圧力を高めることで、紫外線源となるキセノン(Xe)励起原子が効率良く生成することや、セル壁面での励起粒子の損失を抑制できることなど、高精細化に向けた定量的な知見が得られた。

2004年は得られた指針をもとに、対角100インチでSHV相当の画素数となる画素ピッチ0.3mmの対角1インチ小型実験パネルでNe-Xe混合ガスの圧力を93kPaまで高めたパネルを試作した。このパネルでは、低Xe濃度(5%)、高Xe濃度(15%)の条件下で、それぞれ約600cd/m²、約1200cd/m²の高輝度が得られ、実現が難しいと考えられていたPDPの超高精細化の可能性を実証した⁽⁴⁾(**図10.1**)。

2005年はこれまでの基礎検討で得られた結果をもとにパネルに封入するNe-Xe混合ガスの圧力を高め、対角6.5インチの画素ピッチ0.3mm超高精細パネルを試作し、安定な画像表示ができることを実証した⁽⁵⁾(**図10.2**)。このパネルには小粒子の蛍光体を使用しているが、さらにはばらつきの少ない放電空間を確保するために、ナノ粒子蛍光体の研究に取り組み、スクリーン印刷技術法で形成した実験パネルにより安定なパネル点灯特性を確認した⁽⁶⁾。

2006年は、この対角6.5インチパネルの電極構造の改良やセルの隔壁高の最適化、蛍光面の均一化および封入ガスの高Xe化などを行った。この結果、動画像表示が

できる電圧の許容範囲である駆動マージンを拡大させつつ安定な動画像表示を可能にし、発光効率を1.5倍近くまで向上させることができた。

2007年はパネルの大型化に向けて、対角100インチ級パネルに対応できる製作技術を適用し、狭ピッチ化を目指して隔壁や蛍光体層などの形成条件の最適化を進め、対角7インチ、画素ピッチ0.285mmの超高精細PDPを試作して動画像表示を行った。

2008年は放電シミュレーションと回路シミュレーション技術を合わせて、パネルを回路網として扱い各放電セルに印加される電圧や電流波形などの電気的特性、および発光特性を解析する技術を開発し、SHVに向けた中間目標となるハイビジョンの4倍の画素(Quad HD、

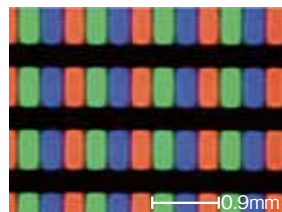
画素数水平：3840×垂直：2160)をもつ、対角103インチ、画素ピッチ0.59mmの高精細PDPを試作して動画像表示に成功した⁽⁷⁾(図10.3)。PDPのサブフィールド駆動方式において、走査線数の増加に対応させる駆動技術を検討した。複数行を同じ信号で同時に駆動しても、画質劣化を抑える画素値決定アルゴリズムを見だし、主観評価実験で有効性を確認した⁽⁸⁾。

2009年は狭ピッチ化を進め、画素ピッチ0.33mmで対角58インチ超高精細PDPを試作して動画像表示に成功した。この超高精細PDPは、60インチ級中型サイズで最小画素ピッチである。

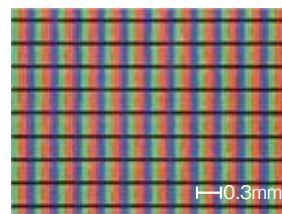
なお、2006年開発の対角6.5インチPDPはバイオニア(株)、(株)ノリタケカンパニーリミテド、NBC(株)



図 10.1 画素ピッチ 0.3 mm 高ガス圧力小型実験パネルによる白色およびカラーバー表示実験



(a) 画素ピッチ0.9mm



(b) 画素ピッチ0.3mm



図 10.2 超高精細パネルによる画像表示 (対角 6.5 インチ、画素ピッチ 0.3 mm) (口絵参照)



図 10.3 Quad HD 高精細 PDP による画像表示 (対角103 インチ、画素ピッチ 0.59 mm) (口絵参照)

との共同研究で、2007~2009年開発の対角7インチ、103インチ、および58インチPDPは松下電器産業(株)(現パナソニック(株))との共同研究で試作を行った。

以上の研究は、関昌彦、村上由紀夫、高野善道、本山靖、石井啓二、平野芳邦、加藤大典、薄井武順、およびH.S. Jeong(ポストドクター)が主に担当した。

[村上 由紀夫]

10.1.2 高発光効率化技術

PDPの省電力化、高輝度化を目指した高発光効率化技術の研究を、SHV方式の家庭用大画面超高精細PDPに拡張し、新技術の探索を推進した。

2000~2001年は、1998年に開始した直流放電型陽光柱PDP⁽⁹⁾の検討をさらに進め、発光素子内の陽光柱発光領域における低電流動作時のエネルギー利用効率(発光効率)が、従来、主要な発光領域として利用されてきた負グロー領域の8倍以上になることを3電極構造の実験素子により立証した⁽¹⁰⁾(図10.4)。この特性を応用して、放電路をU字形に屈曲させた発光素子構造を提

案し、発光効率が従来の1.4倍に改善されることを実験的に示した⁽¹¹⁾。

2002年には、素子の微細化に伴う発光特性の変化を、パネルの発光に関与する励起されたガス粒子の時間空間的な挙動解析により解明する研究に取り組み、放電素子の開口幅と発光特性の関係を明らかにした⁽¹²⁾。

2003年より、ハイビジョン用PDPとして広く実用化が進んだ3電極面放電型PDPをSHV用ディスプレイに適用する目的で、超高精細PDPの発光効率向上に取り組んだ。微細な放電空間内では、発光源となる励起ガス粒子が、放電路を囲む隔壁の近接化により消失しやすくなり、発光特性の低下を引き起こす。2004年は、この特性劣化を改善するための手段の1つとして、封入されるガス圧力を大気圧程度まで高めることが有効であることを理論的に解明し、その効果を検証実験により確認した⁽¹³⁾(図10.5)。

2005年には、直流放電型陽光柱PDPの動作解析知見を踏まえて、発光効率向上を目指した素子の電極構造の検討を行い、放電ギャップを延伸した長ギャップ型放電素子の特性評価に着手した。この発光素子構造では、電極間の放電路内の陽極近傍で、パネルの発光特性にかかわる紫外線発生領域の顕著な拡大が見られることを、赤外線発光像の観察と励起ガス粒子の密度測定実験により確認した⁽¹⁴⁾。これらの解析結果を超高精細PDPで実証するために、対角100インチ級のパネルでSHV映像表示を実現する画素ピッチ0.3mmの小型実験パネルを試作し、従来のギャップ長を2倍程度まで広げることで約20%の発光効率向上が得られることを確認した⁽⁵⁾。

2006~2007年では、安定な動画表示性能を確保しつつ、発光効率を向上させる放電素子の構造パラメータの探索を行い、放電空間を分離する隔壁高の最適化や高濃度Xeガスの適用などにより、発光効率を従来の1.5倍まで向上させた。

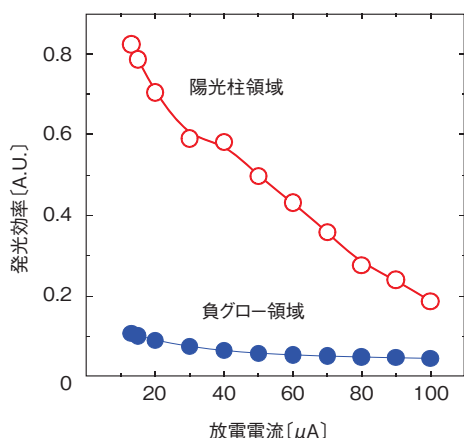


図10.4 陽光柱領域と負グロー領域の発光効率

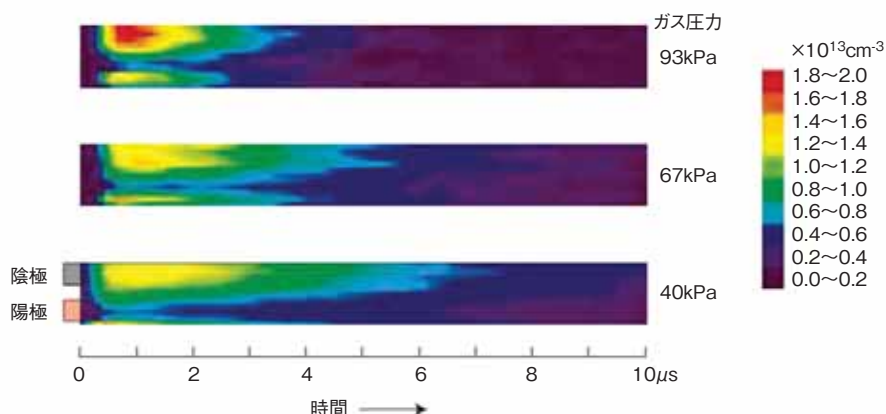


図10.5 ガス条件の違いによる超高精細PDP内の励起ガス粒子時空間分布

2008年には、低電圧電極保護膜材料である酸化ストロンチウムカルシウム(SrCaO)を導入した超高精細PDPを試作し、放電電圧の低減により約1.7倍の発光効率向上が見込まれることを示した⁽¹⁵⁾。

2009年には、パネルの高輝度化を目的に発光素子内に2つの放電路を有する新しい電極構造を提案し、約40%の輝度向上を確認した⁽¹⁶⁾。

以上の研究は、関昌彦、加藤俊宏、高野善道、栗山孝夫、村上由紀夫、山本敏裕、本山靖、後沢瑞芳、河井貴志、武井達哉、石井啓二、上田智志、平野芳邦、加藤大典、薄井武順が主に担当した。

(石井 啓二)

10.1.3 低電圧電極保護膜材料

高精細化が進むPDPの省電力化を目指し、電極保護膜(PDPにおいて電子放出を行う陰極の役割を担う)における膜質の制御や、新規材料の導入による放電電圧の低減を推進した。放電電圧を低減するには、電極保護膜から電子がガス中に放出されやすくなることが必要であり、この性能を示す値は、2次電子放出利得(γ)と呼ばれ、この値が高いほど、放電電圧は低くなる。ここでは、さまざまな電極保護膜材料の γ の理論計算を行い、その結果を指針として研究を進めた。

2000~2001年は、1998年に開始した電極保護膜の γ の理論検討をさらに進め、電極保護膜材料のバンドパラメーターと封入ガス原子のイオン化エネルギーなどから γ を計算できる簡易化した理論モデルを確立することにより、 γ の決定要因を明らかにした。さらに、実用化されている酸化マグネシウム(MgO)電極保護膜材料の各種希ガスに対する γ の理論値を求め、それらの結果をこれまでに報告されている測定結果と比較することにより、解析手法の妥当性を確認した。これらの研究は電極保護膜材料の探索や、改質の際に有効な指針を与えるための定量的な議論の出発点となった^(17,18)。

2002~2003年は、電極保護膜材料として実用化されているMgOの γ の理論検討をさらに進め、希ガス分子イオン、および準安定分子による γ の値を理論計算により初めて示した⁽¹⁹⁾。さらに、MgOのバンドギャップ中に存在する酸素欠損に捕らえられた電子の数が多くほど、 γ の値が高くなり放電電圧が低減することを、複数のエネルギー単位を組み入れた新しい計算方法によって明らかにした。カソードルミネッセンス分析と放電パネルによる実験結果から、この計算方法の妥当性を確認した。さらにこの酸素欠損量はMgO電極保護膜の成膜条件で制御できることを示した^(20,21)。

2004年以降は、現用されているMgOに代わる新しい電極保護膜材料の探索を始め、さまざまな絶縁体について γ の理論計算と実験を進めた。2005年には低電圧電

極保護膜材料として報告されており、技研における計算でも高い γ 値が得られていたSrCaOを、窒素(N₂)雰囲気中でパネル化する製作プロセスを用いることにより、その低電圧特性を維持したままカラーPDPに導入することに初めて成功した(図10.6)。放電電圧は従来のMgO材料を用いた場合に比べ、20~40%低減されることを示した^(22,23)。

2006年にはSrCaO電極保護膜材料の低い放電電圧特性を生かして、発光効率が向上する一方で、放電電圧の上昇が顕著になる高濃度Xeガスを封入したPDPへの適用を検討した。試作したパネルは、従来のMgO材料(Xe濃度10%)を用いたパネルと同等の電圧と輝度で放電することが可能で、かつ、そのときの駆動電流は従来の約半分であることを明らかにした。この検討により、低電圧保護膜材料を用いることによりパネル部分の消費電力が半減できる見通しが得られた^(24,25)。

2007年には、SrCaO電極保護膜材料を画素ピッチ0.66mmの小型PDPに導入して、従来よりも約30%低い駆動電圧で、動画像表示を行った⁽²⁶⁾(図10.7)。さら

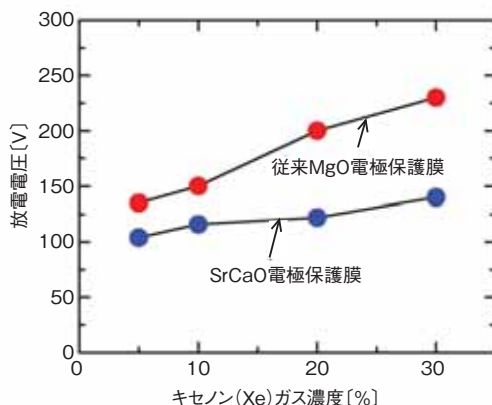


図10.6 SrCaOを電極保護膜材料とすることによる放電電圧の低減

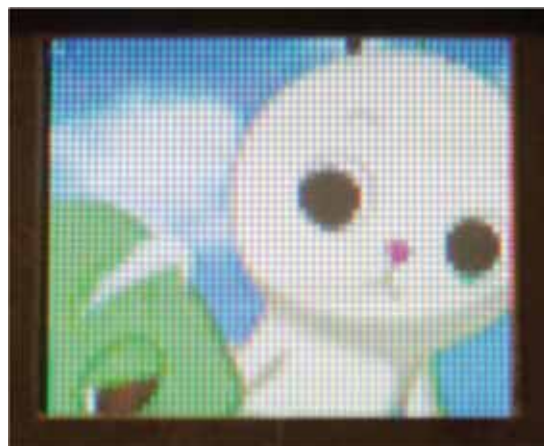


図10.7 SrCaO電極保護膜を導入した小型パネルによる動画像表示(口絵参照)

にこの材料を画素ピッチ 0.30 mm の小型 PDP に導入し、超高精細パネルにおいても駆動電圧を低減できることを示した⁽¹⁵⁾。

2008 年からは、現行の PDP 製造プロセスに低電圧電極保護膜材料を導入するための検討など、この材料の実用化研究に取り組み、低電圧電極保護膜材料のプロセス耐性改善を目指して、大気中加熱による低電圧特性の劣化機構を解明した⁽²⁷⁾。また、一般に、放電開始の時間遅れが大きいとされている低電圧電極保護膜材料を用いたパネルに、現行の改善技術を導入するため新しい電極保護膜形成プロセスの提案を行い、従来よりも約 30% 低い放電電圧を維持したまま、放電開始の時間遅れを現行のレベルにまで改善できる見通しが得られた⁽²⁸⁾。

以上の研究は、佐藤史郎、関昌彦、高野善道、松崎秀臣、村上由紀夫、本山靖、石井啓二、平野芳邦、加藤大典、薄井武順が主に担当した。

[本山 靖]

10.1.4 放電物理、シミュレーション

PDP のさらなる高効率化や超高精細化などの性能向上を目指すには、発光の基礎となる微小放電現象の詳細を知る必要がある。このような基礎研究の進展とパネル設計への応用を目的として、物理現象に基づく AC(交流)型 PDP 放電モデルの構築を行い、放電シミュレーション技法の改良とパネルシミュレーターの開発を進めた。

2000~2002 年にかけて、1998 年から検討を開始した 3 次元放電シミュレーションプログラムをベースに、パネル駆動時の書き込み放電から維持放電への移行過程のシミュレーションに着手した。放電空間内に荷電粒子が少ない期間では計算ステップ数を減らすなどの簡略化により、計算時間の短縮にも成功した^(1, 29)。

2002~2004 年には、シミュレーションの高精度化とさらなる計算時間の短縮を目指し、エネルギー保存則に局所平衡仮説に基づく散逸過程を新たに追加するとともにプログラム構造を簡易化し、AC 型 PDP 放電の過渡現象を精度良く高速に解析する実用的なプログラムを構築した。

新しいプログラムは、書き込み電極に補助パルス電圧を印加する、補助パルス付き PDP 放電における発光効率改善機構の解明に応用され、電子エネルギーを有効利用する条件の一端が明らかになった(図 10.8)。また、これらの結果をレーザー吸収顕微分光法によるプラズマ測定の結果と比較し、放電モデルとシミュレーションプログラムの妥当性も確認した⁽³⁰⁾。

2001 年より、シミュレーション技法の検証として開発したプラズマ計測技術を活用し、従来は困難であるとされていた超高精細 PDP における超微小放電の測定に

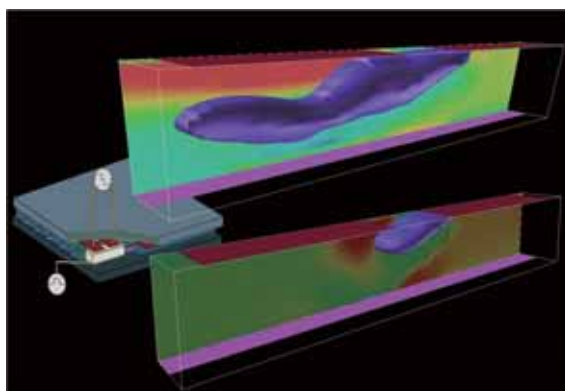


図 10.8 補助パルス付き PDP 放電における粒子密度分布

着手した。2004 年には、セル幅 0.1 mm (放電空間幅 0.05 mm) で発生する超微小放電の測定に成功し、微小セルにおける高ガス圧化や高 Xe 濃度化による発光効率改善機構の解析を行った^(14, 31)。

2005~2007 年には改良により高精度化したプログラムを利用し、超高精細セルの放電発光特性やセル構造への依存性の解析を行い、超微小放電の基礎特性を明らかにした^(3, 32, 33)。これと並行してさらなる高効率化や放電安定化を目指して、2005 年から多体ガス系の PDP 放電モデルの構築を進め、PDP の寿命や発光効率に影響を与える活性ガスを添加した PDP について放電の解析を行った^(34, 35)。また、大学との連携により AC 型 PDP のメモリー機能において大きな役割を果たす表面電荷の測定や、電子エネルギー分布に関する検討を開始し、基礎データを取得した^(36~40)。

2007 年からは超高精細 PDP の大画面・多画素化に関する基礎検討を開始し、多数の放電セルを配置したパネルの放電発光特性と電気的特性を解析するパネルシミュレーションシステムの開発を進めた(図 10.9)。2008 年にはパナソニック(株)との共同研究により、パネルシミュレーションシステムの妥当性を確認するとともに、電極抵抗やパネル容量が複数セルの放電特性に与える影響の解析に応用し、映像表示の安定化を定量的に評価することが可能であることを示した⁽⁷⁾。

以上の研究は、関昌彦、高野善道、村上由紀夫、本山靖、石井啓二、平野芳邦、薄井武順、および Heui Seob Jeong(ポストドクター)が主に担当した。

[平野 芳邦]

10.2 電界放出ディスプレイ

走査線数が 4000 本級の大画面・超高精細ディスプレイを目指して、2000 年より冷陰極を用いた電界放出ディスプレイ(FED)の研究を開始した。

FED は、電界放出により冷陰極から真空中に電子を

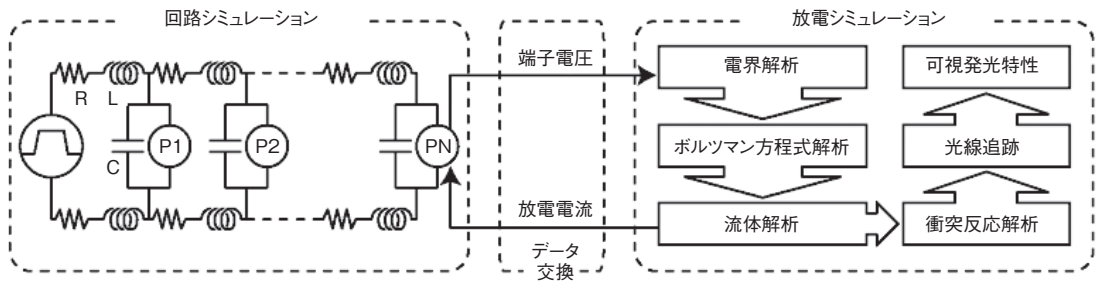
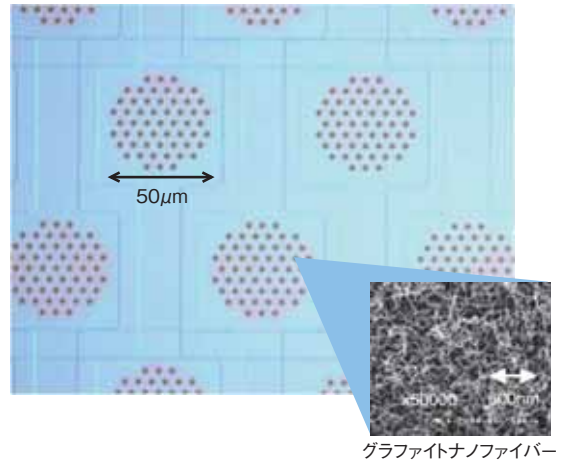


図 10.9 パネルシミュレーションシステムのブロック図

引き出し、蛍光体につけて発光させるフラットパネルディスプレイである。大型ディスプレイではパネル内を高真空に保つことが困難になることが予想され、低真空でも安定な動作が期待できる冷陰極が望まれる。この研究では残留ガスの影響を受けにくく、大型ディスプレイに用いても安定で良好な電子放出が期待できるグラファイトナノファイバー (GNF : Graphite Nano-Fiber) を用いた。GNF はナノスケールのグラファイト層が積層してできた微細繊維状の材料で、熱 CVD (Chemical Vapor Deposition) 法により金属触媒上だけに選択的に成長させることができる (図 10.10)。冷陰極に加えて、FED を開発するうえで必要となる基板微細加工技術、パネル製作技術の開発を行った。

冷陰極には、低電圧で大きな電流を得ることができる、冷陰極間の電子放出特性の均一性が良いなどの特性が要求され、これらの要求条件を満たす冷陰極を目指して研究を行った。2001 年には、GNF を選択的に成長させるために必要な金属触媒層の膜厚や成膜条件の最適化を行った。これにより、電子放出に寄与しない不純物を含まない GNF を成立させることができ、真空チャンバー内で電極母線上に形成した GNF 冷陰極からの電子放出を確認した⁽⁴¹⁾。この結果を受け、2002 年に、直径が 10 μm の微細なエミッターホール内に選択的に GNF を形成し、電子引き出し電極を有する冷陰極を試作して真空チャンバー内で動作させて単色の動画像表示を行った⁽⁴²⁾。また、新たな電子源の探索を目的に、面状に電子放出する薄膜冷陰極の試作を行った。これは [Cr 電極 / Ta₂O₅ 絶縁層 / ZnS 層 / Au 電極] の構造をもち、高精細ディスプレイに適した均一な単色発光を得た⁽⁴³⁾。

2003 年にはパネル封止技術を開発して FED のパネル化を行った。GNF は空気中での加熱で特性劣化を招くため、窒素雰囲気中でパネル封止を行い 1 インチグリーン単色 FED パネルを試作した⁽⁴⁴⁾。安定な動画像表示が可能で、GNF が低真空の環境でも動作すること、十分な寿命 (加速試験で 330 時間以上、実時間換算で 2 万時間以上) をもつことを確認した⁽⁴⁵⁾。



グラファイトナノファイバー

図 10.10 グラファイトナノファイバーを用いた冷陰極基板

目標とする超高精細 FED を実現するには、冷陰極から引き出された電子ビームを蛍光面で効果的に集束させる必要があり、2004 年に放出電子のエネルギー分析や電子ビーム軌道解析によるビーム集束機構の検討を静岡大学との共同研究により行った^(46,47)。これらの結果をもとに 2005 年から集束電極をもつ冷陰極の検討を始めた。エミッターホールの高集積化を行うために、絶縁層のエッチングにドライエッチング法とウェットエッチング法を併用する新しいプロセスを開発し、集束電極を付加した画素ピッチ 0.3 mm の 5 インチカラー FED (320×240 画素) を試作し、カラー動画像を表示した⁽⁴⁸⁾。これに加えて、CVD 温度などの GNF の形成条件を見直し電子放出量を改善した超高精細冷陰極を用いて、それまでで最小画素ピッチ 0.15 mm の 1.6 インチ超高精細カラー FED (192×192 画素) を試作し、超高精細画素に対する電子ビーム集束特性を実証した⁽⁴⁹⁾ (図 10.11)。

2006 年から 2007 年にかけて、GNF 冷陰極の放出電流量のさらなる増大と電子放出の均一性の改善に取り組んだ。SiO₂ を加えた新規の触媒を用いることにより、直径が細くばらつきが少ない GNF を形成することが可能になった⁽⁵⁰⁾。また、新たに開発した微細加工プロセスにより、新規触媒を用いた GNF 冷陰極を作成して良



図 10.11 画素ピッチ 0.15 mm の試作 FED (口絵参照)

好な電子放出特性を確認した。

それまでの研究により、GNF を電子源とした冷陰極の超微細化の可能性を示した。一方、GNF 陰極を大画面ディスプレイに適用した場合に、画面全体にわたって均一な GNF を成長させる形成条件を見いだすことの困難性も明らかになった。2007 年にこの研究を取束したが、その中で培われた微細加工技術は、高精細 PDP やフレキシブルディスプレイの作製技術などに生かしていく。

以上の研究は、佐藤史郎、関 昌彦、岡本信治、斎藤信雄、村上由紀夫、山本敏裕、後沢瑞芳、田中 克、栗山孝夫、上田智志、武井達哉、山本 勝、萩原 啓、室井哲彦、堺 俊克、および野田大二(科学技術特別研究員)が主に担当した。

[関 昌彦]

10.3 無機 EL デバイス

蛍光体薄膜に高電界を加えて発光させる無機 EL (Electroluminescence) デバイスは、完全固体の発光素子であって、高精細画像表示に適している。また無機材料の特長である化学的安定性と長い素子寿命などの高い信頼性を有することから、次世代の高精細フラットパネルディスプレイの候補の 1 つとして考えている。しかし、ディスプレイとしては性能が青色をはじめとする新規 EL 材料の開発に依存している段階のため、EL 材料の探索とそれら材料のデバイス物理や作製法を中心に研究を進めた。

2001 年には、新しい高輝度青色 EL 材料 $BaAl_2Si_4Eu$ 薄膜について分析・評価を実施した。薄膜のカソードルミネッセンス(CL)の深さ方向プロファイルの測定から、電子線蒸着法で作製された $BaAl_2Si_4Eu$ 薄膜の EL 発光は、薄膜の表面近傍のみで起きていることを明らかにした⁽⁵¹⁾。また、この電子線蒸着法で作製した $BaAl_2Si_4Eu$ 薄膜中には、不純物として多量の酸素が含有されている

ことも突き止めた⁽⁵²⁾。一方、この青色 EL 材料 $BaAl_2Si_4Eu$ については、2005 年に MBE (Molecular Beam Epitaxy) 装置を用いた多源蒸着法によって、酸素不純物がまったく含まれず、X 線回折(XRD)のピーク半値幅が 0.15 度という世界最高レベルの結晶性品質の薄膜作製に成功した⁽⁵³⁾。この MBE で作製した薄膜は、深さ方向に対して均一な発光分布と酸素のない均一な組成分布を示した。また、これらの EL 薄膜について、兵庫県にある高輝度放射光研究施設「Spring-8」のビームラインを使って、 $BaAl_2Si_4Eu$ 薄膜中の結晶の Eu イオン周囲の局所構造解析を試みた⁽⁵⁴⁾。その結果、Eu イオンは、電子線蒸着法および MBE で作製したどちらの薄膜においても Ba サイトを置換しているものの、EL 薄膜の作製方法に依存する形で Eu イオンの価数が大きく変化することがわかった。すなわち、電子線蒸着法による成膜直後の薄膜は、3 価(Eu^{3+})の状態であって青色発光を示さないアモルファス状態であるが、アニール(熱処理)を行うと 2 価(Eu^{2+})の状態になって結晶化し、酸素不純物を大量に含むものの化学的には安定した薄膜になる。一方、MBE で成長した薄膜は、結晶膜であって酸素を含有せず、製膜直後から Eu イオンは 2 価(Eu^{2+})の状態になっていることがわかった。

無機 EL に関するデバイス物理の研究も進めた。まず 2000 年には無機 EL 素子の量子効率に関する評価を試みた⁽⁵⁵⁾。各種無機 EL 材料 $ZnS:Mn$ (オレンジ)、 $SrS:Ce$ (青緑)、 $SrGa_2Si_4:Ce$ (青)、 $SrGa_2Si_4:Eu$ (緑)、 $BaAl_2Si_4:Eu$ (青)を用いた素子内部では、発光層中を 1 個のキャリア(電子またはホール)が走行する過程で、複数個のフォトンが放出されていることを突き止めた。また、2001 年には、EL 素子発光の取り出し効率の改善を試み、EL 素子上に光散乱層を積層すると、散乱層がない場合に比べて輝度が 1.5 倍に向上することを確認した⁽⁵⁶⁾。同時に、理論予想では 2 倍の改善が可能であると見積もられた。

2003 年には、発光中心材料の含有率が数%以下の従来の EL 材料とは異なり、発光中心材料が 100% の結晶母体中に固容した新しい EL 材料 $EuGa_2S_4$ を開発した⁽⁵⁷⁾。この $EuGa_2S_4$ では、その結晶構造に由来して発光中心の濃度消光が少ないため、発光中心材料が 100% にもかかわらず、色純度の良好な緑色 EL を得ることができた。

一方、結晶粒子径がナノメートルサイズからなる蛍光体の無機 EL 素子への応用も試みた。2002 年には青緑蛍光体 $SrS:Ce$ の微粒子を ZnS 薄膜中に分散した新しい構造の EL 素子を開発した⁽⁵⁸⁾。この EL 素子では、 ZnS 中での $SrS:Ce$ の含有量を変化させることで、 Ce^{3+} イオンの周囲の結晶場が変化し、青から緑の波長領域において、発光色が可変できることを明らかにした。2009 年

からは、ナノ粒子を用いた塗布法による無機 EL デバイスの研究を行った^(59,60)。従来、無機 EL デバイスの作製には、真空装置を用いた作製法が採用されてきた。そこで、作製コストの面で安価にでき、かつデバイスの高性能化を図るための新規な作製法の開発として、ナノ粒子を用いた塗布法による無機 EL デバイスの研究を行った。塗布の手段にスピコート法を用い、絶縁層として SiO₂、Al₂O₃、SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、Y₂O₃ などのナノ粒子の塗布により形成し、発光層については Mn 添加 ZnO ナノ粒子を塗布したものを H₂S ガス中で硫化することにより ZnS:Mn 薄膜を作製することができた。このデバイスから、Mn²⁺ イオンの 3d-3d 電子遷移によるオレンジ色の EL を得ることができた。

また、開発したこれらの無機 EL 材料を使い放送用モニターを試作した場合を想定して、線幅 14 μm、ピッチ 35 μm の電極をもつ微細化した EL デバイスを試作するとともに、その発光とシミュレーションを比較検討することによって課題や問題点を整理した⁽⁶¹⁾。

以上の研究は、岡本信治、井上陽司、田中 克、田中 功、和泉佳孝、堺 俊克が主に担当した。

〔田中 克〕

10.4 次世代蛍光体

電子線、紫外線、電界で励起する新しい蛍光体の開発や、蛍光体の発光・励起機構に関する研究を行った。また、開発した蛍光体の放送デバイス応用として、従来の粉末蛍光体に代えて、薄膜形状の蛍光体を用いることにより CRT (Cathode Ray Tube: ブラウン管) ビューファインダーを高解像度化するための研究を行った。

2001 年には、青色蛍光体 SrGa₂S₄:Ce の薄膜形状の蛍光体を、MBE 装置を用いた多源蒸着法で作製した⁽⁶²⁾。その結果、作製した薄膜において、5 kV の加速電圧下で 1000 cd/m² の輝度と 1 lm/W の発光効率を得た。これは、従来の粉末形状の青色蛍光体 ZnS:Ag と同等の輝度・効率である。また、薄膜形状の蛍光体の結晶粒子径は 0.1 μm 程度であって、粉末形状の粒子径 1~5 μm に比べて格段に小さく、高精細表示に適している可能性が示された。

2004 年からは、超高精細ディスプレイ用薄膜蛍光体に関する基礎検討の一環として、高電界下における蛍光体の励起機構について調べた⁽⁶³⁻⁶⁶⁾。方法としては、薄膜蛍光体の片側絶縁構造をもつ EL 素子での発光波形の観測による。調査対象とした蛍光体材料は、SrGa₂S₄、EuGa₂S₄、BaAl₂S₄ など 3 つの元素から構成された母体材料 (3 元化合物) の蛍光体である。その結果、SrGa₂S₄:Ce では電子、SrGa₂S₄:Eu、SrGa₂S₄:Mn、EuGa₂S₄ および BaAl₂S₄:Eu では、ホールがそれぞれ励起に関与して

いることが明らかになった。従来、電子が励起エネルギーの担体と考えられてきたが、プラスの電荷をもつホールについても電子と同様の役割を果たすことが初めて明らかになった。

また 2004 年から、これら SrGa₂S₄ を母体材料とする青、緑、赤の 3 原色における電子線励起蛍光体の特性改善を進めた。Ce を添加した色純度の良好な青色、Eu を添加した色純度の良好な緑色については、それぞれ量子効率 1 を達成することができたが、2008 年には、赤色発光を示す Mn 添加の場合についても、量子効率 0.6 程度にまで改善できた⁽⁶⁷⁾。

2005 年からは、電子線励起や紫外線励起用の蛍光体として、上に述べた薄膜蛍光体に加えて、粉末形状の蛍光体についても特性改善を進め、特に赤色発光 Y₂O₃:Eu、青色発光 ZnS:Ce、Y、緑色蛍光体 SrGa₂S₄:Bi の研究を行った。

まず、赤色蛍光体 Y₂O₃:Eu については、SrF₂ を混合して作製することにより、結晶粒の成長が促進され、Eu³⁺ イオンのフォトルミネッセンス (PL) 輝度が 2 倍となることを示した⁽⁶⁸⁾。また、新しい青色蛍光体として ZnS:Ce、Y を開発した⁽⁶⁹⁾。ZnS:Ce、Y は、色度座標 (0.15, 0.09) と色純度が良好な高輝度青色蛍光体であることが判明した。従来、蛍光体の不純物添加には、結晶欠陥を生じないように母体材料と同じ価数 (ZnS の場合は 2 価) の不純物イオンを添加するのが通例であったが、ZnS:Ce、Y の開発にあたっては、これとは逆に Y、La といった価数の異なる 3 価のイオンを共添加することで青色化できることを初めて見いだした。

一方、新規緑色蛍光体として、貴重な資源である希土類元素の Eu を使用しない Bi³⁺ イオン添加 SrGa₂S₄ (SrGa₂S₄:Bi) 蛍光体を開発した⁽⁷⁰⁾。SrGa₂S₄:Bi の PL 発光は 533 nm に単一のピークをもつスペクトルで緑色発光であり、その半値幅は 58 nm であった。この結果から、SrGa₂S₄:Bi は SrGa₂S₄:Eu と同様の色純度の高い緑色発光を示すことがわかった。また、励起スペクトルから SrGa₂S₄:Bi 蛍光体は 300 nm 帯と 400 nm 帯に励起帯をもち、Bi³⁺ と Mn²⁺ イオンを同時に添加すると、Bi³⁺ のみを添加した場合と比べ、励起帯間の相対強度が逆転することもわかった。このことから、SrGa₂S₄:Bi 蛍光体が実用緑色蛍光体 SrGa₂S₄:Eu を代替する可能性をもつ材料であることを示した。

2009 年からは、薄膜蛍光体の放送用表示デバイスへの応用として、放送用ハンディカメラのビューファインダーへの適用を試みた。市販されている放送用ハンディカメラは、高い動画品質と速い応答性の観点から主に CRT が搭載されているが、CRT の蛍光体として粉末形状の粒子径 1~5 μm の光散乱の大きい粉末蛍光体を用い



図 10.12 緑色蛍光体 SrGa₂S₄:Eu 薄膜を用いた CRT ビューファインダー (口絵参照)

られているため、水平解像度は 500 TV 本程度と低く HDTV (ハイビジョン) の基準を満たしていない。そこでこの粉末蛍光体に代えて、結晶粒子径が 0.1 μm 程度と小さいため光散乱が小さいと見込まれる薄膜蛍光体の適用を試みた。緑色蛍光体 SrGa₂S₄:Eu 薄膜を用いた結果、HDTV 基準を満足する水平解像度 900 TV 本をもつビューファインダーを試作することができた (図 10.12)。また、白色系蛍光体についても薄膜化を進めることで、CRT ビューファインダーへの適用実験もあわせて進めた。

以上の研究は、斎藤信雄、岡本信治、土屋 譲、田中克、堺 俊克が主に担当した。

(田中 克)

10.5 フレキシブルディスプレイ

10.5.1 フィルム液晶ディスプレイ

いつでもどこでもテレビ番組や情報を享受できることを目指して、薄くて柔軟で持ち運びに便利なフィルム液晶ディスプレイを実現する材料・素子基盤技術の研究を、2000 年から本格化した。プラスチック基板を用いたフィルム液晶ディスプレイは、既存の作製技術を転用できるため、大画面化・高精細化に有利という特長がある。

2000 年には、液晶を挟むプラスチック基板をポリマー (合成樹脂) で安定化するため、高速応答の強誘電性液晶とモノマーの混合液に紫外線を照射して、液晶中にポリマー繊維を分散した^(71,72)。さらに、フレキソ印刷法の導入に着手し、混合液の印刷条件を見いだして 10 cm 角のフレキシブルな液晶素子⁽⁷³⁾を試作した。また、パターン電極駆動や単純マトリクス駆動などの基礎的な表示 (16×16 画素) 実験を開始した。

2001 年は素子の機械強度を向上させるため、ポリマー繊維を形成する前に、局所的な紫外線露光によりポリマー壁を形成する技術を開発した。これによりプラスチック基板を用いた場合でも、2 μm 厚の均一な複合膜が形成でき、素子の湾曲表示を実現した⁽⁷⁴⁾。2002 年には、さらに柔軟性・湾曲耐性を改善するため、より薄いプラスチックフィルム基板 (0.1 mm 厚) を導入し、それに適したポリマー構造の作製条件を見いだした。

2003 年には、フィルム液晶素子をカラー化するため、平坦性の高いマイクロカラーフィルター膜の低温形成技術を開発した。また、分子スイッチ角の大きな強誘電性液晶の分子をポリマー繊維で安定化することで、V 字状の電圧・透過率特性に基づく連続階調機能⁽⁷⁵⁾を実現した。さらに、液晶とポリマーの高純度の分離条件⁽⁷⁶⁾を見だし、動画表示に適した 1 ミリ秒以下の高速応答性を確保した。

また 2004 年には、フィルム液晶を大型化するため、ポリマーの分子結合の密度を高める多官能性モノマーを導入し、基板を保持するポリマーの機械強度を高めた。さらに、大面積の印刷作製技術を開発して、A4 サイズの大型パネル⁽⁷⁷⁾を試作した。試作したパネルを外部トランジスターのマトリクス回路で駆動することにより、24×16 画素の表示実験を行った。その際、フィールド色順次法に基づき、1 フレーム内で 3 原色バックライトを順次点灯するとともに、それに同期して液晶を高速駆動することによりカラー表示を実現した⁽⁷⁸⁾。

2005 年は、フィルム液晶の動作電圧を低減するため、ポリマー添加量を半減させるとともに、強い紫外線照射に伴うポリマー硬化により素子の機械的安定性を確保した。これにより、微細なポリマー繊維が形成され^(79,80)、動作電圧を従来の薄膜トランジスター (TFT: Thin Film Transistor) で駆動可能な数 V 程度まで低減した。また、画素電極などをガラス基板からプラスチック基板に高精度に写し取る転写法を導入して、96×64 画素の A4 サイズ液晶パネルを試作した。これらの液晶パネルの駆動実験から、フィルム液晶におけるフルカラー映像の表示能力を実証した。この研究は、共同印刷 (株) との共同研究で行った。

2006 年から 2007 年にかけては、表示の黒レベルの上昇を抑制するため、強誘電性液晶にはほかの液晶材料を添加してポリマー壁形成時に生じる液晶の配向乱れを低減した⁽⁸¹⁾。これにより、高コントラストな液晶パネルを試作した (図 10.13)。さらに 2009 年は、複合膜の厚み

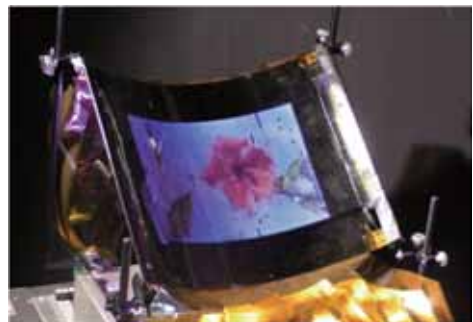


図 10.13 外部トランジスターで駆動した A4 サイズのフィルム液晶ディスプレイ (口絵参照)



図 10.14 有機 TFT を形成した 5 インチフィルム液晶ディスプレイ

ムラを減らして表示欠陥を減らすため、新規の強誘電性液晶を導入して液晶の厚膜化を進めた。

フィルム液晶パネルに実装するフレキシブルバックライトとして、3 原色の薄型発光ダイオードを柔軟な回路基板に表面実装した直下照明型バックライトを 2005 年に開発した。さらに 2006 年には、透明シリコンゴム導光板 (1.5 mm 厚) にチップ型発光ダイオードのエッジライトを実装した高輝度バックライトを試作した⁽⁸²⁾。この研究は、ミネベア (株) との共同研究で行った。

このような液晶素子の研究とともに、2002 年および 2003 年には、フィルム液晶のアクティブマトリクス駆動の研究に着手した。まず、低温形成可能で柔軟な有機 TFT と液晶を一体化するための保護膜を開発した。2004 年には、低誘電率のゲート絶縁膜を用いた低電圧動作の有機 TFT アレーを試作し、プラスチック基板で基礎的なアクティブ駆動 (5×5 画素) の液晶素子⁽⁸³⁾ を作製した。

さらに 2006 年には、有機 TFT アレーを用いた 16×16 画素のフィルム液晶を試作して、フィールド色順次駆動に基づきカラー表示を実現した⁽⁸⁴⁾。2007 年にはゲートチャンネルを短くすることで有機 TFT を高速化して、64×64 画素の対角 1.8 インチパネルで、フレーム周波数 60 Hz のカラー動画像を表示した。2008 年には、有機 TFT を微細化して画素数を増やした対角 5 インチのアクティブ駆動パネル (QQVGA: 160×120 画素) を試作した⁽⁸⁵⁾ (図 10.14)。

その一方で、高移動度で高精細化に適した多結晶シリコン TFT をプラスチック基板上に低温で直接形成して、対角 5.1 インチのフィルム液晶パネル (128×72 画素) を試作した⁽⁸⁶⁾。この研究は、大日本印刷 (株) との共同研究で行った。

以上の研究は、佐藤史郎、栗田泰市郎、土屋 譲、時任静士、菊池 宏、飯野芳己、藤掛英夫、河北真宏、藤崎好英、米内 淳、佐藤弘人、および村重 毅 (ポストドク

ター) が主に担当した。

〔藤掛 英夫〕

10.5.2 液晶材料・素子

プラスチック基板をポリマー構造で安定化したフィルム液晶ディスプレイを実現するため、さまざまな材料・素子の研究を進めた。

まず、液晶中に析出する紫外線硬化ポリマーの形成メカニズムの解析を行った。2001 年には偏光顕微鏡内でポリマーの重合温度や硬化速度を調整することにより、ポリマー繊維が成長核から析出し、ゆらぎながら固定されていく様子を画像化することに成功した⁽⁸⁷⁾。

また 2002 年には液晶分子に対する配向規制力を電気光学測定から求めた結果、ポリマー繊維の表面は、従来のポリイミド配向膜には劣るものの、液晶分子に対して配向規制機能をもつことも実証した⁽⁸⁸⁾。さらに 2004 年から 2005 年にかけて、紫外線の部分露光によるポリマーの析出形態の変化を偏光顕微鏡観察や顕微鏡ラマン分析法により調べた⁽⁸⁹⁾。その結果、露光面積が減少すると、ポリマー繊維に取り込まれる液晶が減少し、高密度なポリマーの壁構造が析出することをラマン散乱ピークの積分強度から定量的に明らかにした。

このようなポリマー壁による補強効果と、ポリマー繊維の分子配向規制力を応用し、種々の液晶デバイスの開発を進めた。液晶ディスプレイの動画特性の向上に適したバンド配向液晶素子において、ポリマーの 3 次元的な配向規制力でスプレーバンド転移現象を安定化する技術を開発した⁽⁹⁰⁾。この転移現象の安定化は、ネマティック液晶と液晶性モノマーの混合液をあらかじめ電圧を印加してバンド転移させた後、局所的な光重合相分離過程により配向性のポリマー壁構造を選択的に形成することにより実現した。2002 年に試作した素子では、電圧無印加時の初期状態でも安定にバンド配向を保持できることが確認された。

さらにポリマー分散技術を適用し、電子ペーパー応用にも期待される省電力なフレキシブル反射型液晶素子の試作を行った。2009 年には、ねじれ配向をもつコレステリック液晶をポリマーの壁と繊維で安定化したところ、フレキシブル反射型液晶素子の湾曲性と温度特性を改善できることが明らかになった⁽⁹¹⁾。また 2 色性色素を添加した液晶の分子配向をねじるとともに⁽⁹²⁾、フィルム基板をポリマー壁により保持することで、曲げられた状態でも安定したねじれ配向に伴う光変調動作を実現した⁽⁹³⁾。

上記の液晶/ポリマー複合膜において、高温焼成が不可欠なポリイミド配向膜による配向制御が施されるが、一般に耐熱性が低いプラスチック基板を適用する際には熱処理が不十分であるという課題があった。そこで、ポ

リマーの長繊維(フィラメント)や機械的に延伸した多孔質ポリマーにより、液晶分子を3次元的に配向させる新しい分子配向技術を開発した^(94,95)。試作した素子は、2枚の延伸多孔質ポリマー膜を直交した状態で積層し、それに黒色2色性色素を微量混合したネマティック液晶を充填して透明電極付き基板で挟み込む構成とした。白色光を入射して光変調特性を測定した結果、液晶分子が2つのポリマー膜の延伸方向に配向して光を吸収し、無偏光の入射光を電圧制御により変調できることを確認した。さらに室温で成膜できるフッ素樹脂をラビングすることにより、液晶の配向制御が可能であることも見いだした⁽⁹⁶⁾。

フレキシブル液晶ディスプレイの柔軟化の実現を目指した新規素子構造や作製プロセスの研究・開発にも着手した。従来の液晶ディスプレイは2枚の基板に液晶を挟む構成であったが、1枚の基板のみで作製する技術を考案し、素子の柔軟化を試みた⁽⁹⁷⁾。単基板で流動性のある液晶層を保持するため、液晶中に微細なポリマー繊維を分散した複合膜を光重合により形成し、液晶層に自己保持性をもたせた。さらに液晶の流出を防ぐため、複合膜上にポリビニルアルコール水溶液を塗布し、水を蒸発させて複合膜上に平坦な板状オーバーコート層を形成することに成功した。2005年に試作した素子では、光変調機能が得られることを確認した。

2006年には、基板の柔軟性を利用した簡易で生産性の高い作製方法により、巻き取れる液晶素子を試作し、特性の評価を行った⁽⁹⁸⁾。薄いポリエチレンフィルムに透明電極、絶縁膜、配向膜を積層して袋状セルを形成し、液晶をセル深部に滴下して圧力ローラーにより液晶層の厚みを均一化した。その結果、半径1mmで丸めた後でも液晶配向が維持されるとともに、良好な光変調機能が得られることを確認した。

プラスチック基板上に微細加工を施すことにより、種々の液晶配向機能を発現させる研究にも着手した。2007年には液晶配向を乱さず厚みを保持するスペーサー構造とラビング不要な配向膜を、光インプリント法により一体化形成する技術を開発した⁽⁹⁹⁾。ガラス基板上に形成された型(モールド)の表面をラビング処理したはく離層でコーティングし、プラスチック基板上に塗布された液晶性モノマーを押し込み紫外線を照射することで、分子配向したポリマーの配向膜およびスペーサー構造を形成した。これを液晶が塗布されたプラスチック基板とラミネートして、ツイストネマティック液晶素子を試作し、壁近傍でも配向が乱れず表示動作が可能であることを確認した。また、2009年には大面積化が可能な高強度スペーサーをプラスチック基板上に形成するため、高精度のローラー式ナノインプリント加工を用いたはめ

込み式スペーサーを提案・試作した。

その一方、微細加工に優れ、かつ大面積化にも適用できるマイクロコンタクトプリンティング法で作製したバンド配向素子を用いた液晶素子を試作した⁽¹⁰⁰⁾。2007年には液晶分子配向を局所的に制御するため、マイクロコンタクト法で配向膜の微細加工を試みた。これにより、初期転移の高速化が実現されるとともに、転移後の液晶分子配向を無電圧でバンド配向に安定化可能であることを見いだした。

ほかにも液晶材料・素子を応用して、反射光抑制フィルター、減光フィルター、色温度補正フィルターなどテレビ番組制作機器の研究・開発も行った⁽¹⁰¹⁻¹⁰³⁾。

以上の研究は、佐藤史郎、栗田泰市郎、土屋 譲、菊池 宏、飯野芳己、藤掛英夫、河北真宏、米内 淳、藤崎好英、佐藤弘人、および村重 毅(ポストドクター)が主に担当し、微細加工技術に関しては町田賢司が協力した。
(佐藤 弘人)

10.5.3 有機 EL 材料・素子

薄型、軽量で携帯性に優れたフレキシブルディスプレイの実現を目指し、自発光型で応答速度が速く、動画表示性能に優れた有機 EL 材料・素子の研究を2000年から行った。高分子材料を用いた有機 EL 素子は、大面積化・低コスト化が可能な塗布作製法の適用が期待でき、また、柔軟な材料特性を有するためフレキシブル化に適している。

まずは、高分子有機材料を薄膜化する手法(スピニングコート法)について基礎検討を進めた。スピニングコート法で形成したポリビニルカルバゾール高分子薄膜に、レーザー光照射によって色素(クマリン6など)を選択的に添加して画素配列の高精細化を可能にする手法を開発した⁽¹⁰⁴⁾。

高分子 EL 素子の大きな技術課題は発光効率と寿命の抜本的な改善である。発光機構として、従来の蛍光発光に比べて4倍の効率改善が可能なリン光発光に着目し、これを高分子 EL 素子へ適用することで発光効率の大幅な改善を試みた。2001年は電荷輸送部位が連なった高分子鎖の中にリン光部位を最適濃度で導入した高分子の構造を提案し、赤(R)、緑(G)、青(B)の3色に対応する3種類の高分子を合成した。このリン光性高分子を EL 素子の発光層に用いることで3色(RGB)のリン光発光を実現した⁽¹⁰⁵⁻¹⁰⁷⁾。

さらに2002年から2003年にかけて、分子構造の改良や成膜条件の最適化を進めることで、発光の量子効率の改善を行った。その結果、RGB 3色とも外部量子効率を向上させることができ、RGB おおの 6.9%、11%、6.6%の値を実現した⁽¹⁰⁸⁾。さらに、青色と赤色の2種類のリン光性高分子を同じ発光層に用いることで白色発光

を可能とし、6.1%の量子効率を得た^(109,110)。これら各色の量子効率は当時の世界最高レベルであり、リン光発光の優位性を実証できた。

2003年からは電子と正孔の輸送および発光を担う3元系の新規高分子の開発も進め、リン光性高分子の分子構造および電極金属の最適化を進めることで、発光層における電子輸送性と正孔輸送性のバランスの重要性を見いだした⁽¹¹¹⁾。さらに、リン光の起源である励起三重項エネルギーについて、その大きさと発光効率が直接関係しているなど、多くの重要な知見を得ることができた⁽¹¹²⁻¹¹⁴⁾。その結果、緑色と赤色で外部量子効率を向上させ、緑色で13%、赤色で11%の値を実現した。

リン光性高分子材料を高精細にパターンニングするためのインクジェット技術の検討を2005年から始めた。リン光性高分子材料のインク化と、インクジェット法によるプラスチック基板へのRGB画素の直接形成を行い、溶媒の沸点やインク溶液の粘度を調節することで、ほぼ均一に発光する画素の形成条件を見いだした⁽¹¹⁵⁾ (図10.15)。この研究は、昭和電工(株)との共同研究により行った。

塗布可能なリン光材料の開発と並行し、リン光の発光メカニズムの解明や新規デバイス構造の検討を行った。2005年から2006年には、リン光の発光メカニズムを解明するうえで重要な有機材料の励起三重項エネルギーの評価方法を確立した。これにより、有機分子間のエネルギー移動と発光過程について、エネルギー移動効率が発光・吸収スペクトルの重なりによって支配されることや、高効率化のための三重項エネルギー閉じ込め条件など、多くの重要な知見を得た⁽¹¹⁶⁻¹¹⁸⁾。塗布可能な新しい高効率発光材料としてアルキル鎖などの柔軟な構造を取り入れた材料や、柔軟な鎖構造を付加した新規イリジウム錯体を開発し、低電圧動作を実現するとともに発光量子効率を10%まで向上させた^(119,120)。



図 10.15 インクジェット法で形成した有機 EL 画素からの発光の様子

2007年から2009年にかけて、新しいホスト材料の開発を行った。スピロ構造の新規ホスト材料を用いることで、赤色リン光材料で12%の発光効率と4倍の寿命改善を実現した⁽¹²¹⁾。青色リン光材料に関しては、かさ高い分子構造のアダマンタン誘導体を新規ホスト材料とし、発光層を2重構造とすることで15.7%の外部量子効率を得ることができた⁽¹²²⁾。さらに、2層の発光層構造を有する白色発光素子では、12%の高効率を得ることができた⁽¹²³⁾。

2009年にはピリインドール基をもつ新規ホスト材料を開発し、13%の外部量子効率、さらに2層の発光層構造の採用により再結合領域を広げることで、19%の外部量子効率と30 lm/Wの電力効率を得た⁽¹²⁴⁾。また、材料の電子・正孔移動度をタイムオブフライト法で評価し、高分子材料の重合比により移動度を制御できることを示した。移動度と電子注入のバランスを考慮することで、緑色で14.5%の外部量子効率を得た⁽¹²⁵⁾。

一方、有機ELのディスプレイ以外への応用展開として、白色有機ELパネルを用いた番組制御用キャスターライトを2004年に開発し実用化した。この有機ELキャスターライトは渋谷の放送センターに導入され、オリンピック放送でも使用された。この開発は、(株)豊田自動織機との共同研究により行った。

以上の研究は、佐藤史郎、岡本信治、時任静士、井上陽司、田中克、田中功、石井紀彦、和泉佳孝、都築俊満、鈴木充典、本村玄一、深川弘彦が主に担当した。

(鈴木 充典)

10.5.4 フレキシブル有機ELディスプレイ

薄くて軽いフレキシブルディスプレイの有力候補として、フレキシブル有機ELディスプレイの研究を2003年から本格化した。ベースとなる基板にはプラスチックフィルムを用い、より薄く、軽く、壊れにくい自発光のディスプレイを目指して、技研で開発した高発光効率の有機EL素子を用いたフレキシブル有機ELの研究を進めた。

まず、フィルム基板を用いた有機ELディスプレイの実現可能性を探るため、画素にトランジスターを設けず、単純構造のパッシブ型有機ELディスプレイの研究を進めた。2003年は、フィルム上に白色発光有機EL層とカラーフィルターを形成することで、対角3.6インチ、64×64画素のフレキシブルカラー有機ELディスプレイを試作し、湾曲させた状態でのカラー動画表示に成功した⁽¹²⁶⁾。

2004年は、この白色発光有機ELの効率改善と水蒸気バリアー層の工夫によって輝度と寿命を3倍に改善した。さらに2005年には、パネルの大型化を図り、対角5インチ、128×72画素の表示パネルを試作した。また、

リン光性高分子有機 EL 材料を用いたインクジェット形成法により、プラスチック基板上への画素の直接形成⁽¹²⁷⁾を行った。これによりプラスチックフィルム基板上に、独立に赤・青・緑色画素を形成し、対角 5 インチ、128×74 画素のフレキシブルカラー有機 EL ディスプレイを試作した。

有機 EL において高輝度・高コントラスト・長寿命な画像表示を実現するには、TFT によるアクティブ駆動を行うことが必要である。そのため、フレキシブル化に有利な有機半導体を用いた有機 TFT によるアクティブ駆動法の研究を、2004 年から進めた。有機 EL の駆動には、画素選択用と有機 EL 駆動用の TFT が必要となるため、1 つの画素内に 2 個の有機 TFT を配置したアクティブ駆動の有機 EL パネルを検討した。2004 年は、有機 EL の駆動に関して、技研開発の陽極酸化法(10.5.5 項参照)で形成した五酸化タンタルゲート絶縁膜とリン光有機 EL 素子を組み合わせ、プラスチック基板に 4×4 画素の有機 TFT 駆動の有機 EL 素子を試作した⁽¹²⁸⁾。

2005 年は、特に有機 TFT アレーの微細化・多画素化に向けたプロセス技術の開発に取り組んだ。フォトリソグラフィとドライエッチングによる微細化パターンング技術を導入するとともに、ソース・ドレイン電極の作製条件などを検討し、微細化・多画素化に適したボトムコンタクト構造の有機 TFT を、プラスチック基板上に試作するための作製条件の最適化を進めた。

また、この構造の有機 TFT は、トップコンタクト構造に比べて移動度などの特性が劣化しやすいため、ゲート絶縁膜の表面処理により特性改善を行った。これらにより、6 V 以下の低い動作電圧で移動度 $0.3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 、電流オン/オフ比 10^6 などの良好な特性をもち、有機 EL を駆動可能な有機 TFT を試作できた。これを用いて、プラスチックフィルム基板上に 16×16 画素の有機 EL 単色表示パネルを試作し、低電圧での表示動作を確認した^(129, 130)。この研究は、日本ビクター(株)との共同研究により行った。

2006 年は、さらなる微細化・多画素化を進めるとともに、有機 TFT アレーの完成度向上に向けたプロセス改善に取り組んだ。陽極酸化法によるゲート絶縁膜形成条件を最適化して、パネル全面にわたって良好な絶縁性を有するゲート絶縁膜を形成した。また、気相で作製できるポリパラキシリレンコーティング膜を保護膜として採用することで、パネルの歩留まりを改善した。

2007 年は、フォトリソグラフィ技術を用いた有機半導体のパターンングにより TFT を形成し、64×64 画素の単色有機 EL パネルに、フレーム周波数 60 Hz の動画像を輝度 $68 \text{ cd}/\text{m}^2$ で表示した^(131, 132)。2008 年は、ポ



図 10.16 試作した対角 5.8 インチ Wide-QQVGA フレキシブル有機 EL ディスプレイ (口絵参照)

リパラキシリレン+SiO₂の2層保護膜とフォトリソグラフィ技術を用いた有機半導体のパターンングにより TFT アレーを試作した。さらに TFT アレー上に、真空蒸着法およびインクジェット法を用いて高効率発光のリン光性有機 EL 素子を形成し、対角 5.8 インチ、Wide-QQVGA (213×120 画素)のカラー有機 EL パネルを試作した^(133, 134)。このパネルを用いて、フレーム周波数 60 Hz のカラー動画像を輝度 $30 \text{ cd}/\text{m}^2$ で表示するとともに、湾曲状態でも動作することを確認した(図 10.16)。

以上の研究は、栗田泰市郎、時任静士、藤掛英夫、山本敏裕、井上陽司、田中 功、藤崎好英、武井達哉、都築俊満、佐藤弘人、鈴木鉄男、鈴木充典、中嶋宜樹、深川弘彦、本村玄一が主に担当した。

(山本 敏裕)

10.5.5 有機薄膜トランジスター

高輝度・高コントラストなフレキシブルディスプレイの実現を目指し、柔軟な構造をもち低温プロセスで作製可能なアクティブ駆動素子として有機薄膜トランジスター(有機 TFT)の研究を 2001 年から行った。

低電圧動作で高性能な有機 TFT の実現を目指し、2001 年から 2004 年にかけて、陽極酸化法によるゲート絶縁膜作製法を考案し開発を進めた。陽極酸化に用いる化成液や形成条件の最適化に向けて、高誘電率の絶縁膜である五酸化タンタルの形成条件を検討した。その結果、ホウ酸アンモニウムを化成液に用いることで緻密性・平滑性が良く、不純物の少ない五酸化タンタル膜をプラスチック基板上に形成できた。さらにこの絶縁膜と有機半導体材料であるペンタセンを組み合わせたトップコンタクト構造の有機 TFT 素子を試作した。これにより、従来数十ボルト必要であった動作電圧を 3 V 程度まで大幅に低減し、 $0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の高い移動度を実現した^(135, 136)。

有機半導体材料については、2002 年にアントラセン

オリゴマーを用いた p 型材料を開発して正孔移動度 $0.18 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を実現した。さらに 2003 年には、p 型材料として従来から用いられるペンタセンの水素をフッ素で置換したフッ素化ペンタセンの開発に初めて成功し、アモルファスシリコンと同程度の電子移動度を達成した^(137, 138)。また 2004 年には、これら p 型と n 型両極性の有機 TFT を組み合わせることで、新機能デバイスであるアンバイポーラ TFT の試作にも成功した。2005 年には、チアゾール誘導体を用いた n 型半導体材料を開発し、世界でトップレベルの電子移動度 $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を実現した⁽¹³⁹⁾。

2006 年からは塗布形成が可能な高分子タイプの半導体材料の開発に着手した。液晶性半導体材料であるチオフェン系高分子において、アルキル鎖を伸ばした材料を新たに開発することで、材料の溶解性や結晶化温度を低減した。その結果、シリコン酸化膜のゲート絶縁膜に長鎖のチオフェン系高分子半導体(C 16)をスピンコートで塗布形成した有機 TFT において、半導体の結晶性を高めることができ、 $0.43 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の高移動度を得た⁽¹⁴⁰⁾。

また、2008 年には同じく塗布法で形成したフッ素系高分子のゲート絶縁膜と組み合わせた TFT 素子の試作に成功し、有機 EL が駆動可能な正孔移動度 $0.14 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を実現した⁽¹⁴¹⁾。

ゲート絶縁膜や半導体材料の開発と同時に、有機 TFT の性能や安定性向上に向けた基礎検討を 2006 年より開始した。ポリイミド光配向膜や自己組織化単分子膜(SAM)をゲート絶縁膜と有機半導体層との界面に導入することで、半導体の結晶サイズや配向性の改善を検討した^(142, 143)。図 10.17 に SAM(ヘキサメチルジシラザン)処理により結晶サイズをミクロンサイズまで改善した有機 TFT の顕微鏡写真を示す。特に SAM を用いた研究においては、半導体膜の結晶性向上に加え、絶縁膜表面に存在する水酸基(OH 基)に水分や酸素が反応して TFT 素子のしきい値電圧シフトや大気中での不安定性につながることを見いだした⁽¹⁴⁴⁾。それに基づき、OH 基を含まないフッ素系 SAM やフッ素ポリマーおよびシ

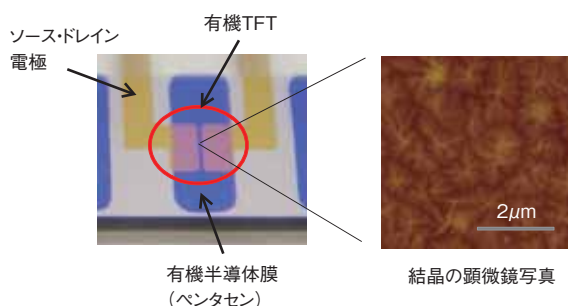


図 10.17 ペンタセンを使った有機 TFT の試作例

ルセスキオキサンポリマーをゲート絶縁膜に応用することで、空気中でも動作安定性に優れた有機 TFT を作製できた⁽¹⁴⁵⁾。特にフッ素系 SAM を用いた高分子 TFT では、それまで報告例がなかった $1.0 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という極めて高い移動度を実現した⁽¹⁴⁶⁾。

また、フッ素ポリマー絶縁膜と大気中で化学的に安定な半導体材料であるジナフトチエノチオフェンを組み合わせたボトムコンタクト型の有機 TFT アレーを作製し、バイアスストレス試験を用いた劣化測定を行った。その結果、しきい値電圧シフトが 1 V 以下と少なく、アモルファスシリコンよりも優れた動作安定性を実証することに成功した⁽¹⁴⁷⁾。

2007 年には、有機半導体とソース・ドレイン電極間の接触抵抗低減を目的とし、酸化モリブデンを電極に用いることで有機半導体への良好なキャリア注入による動作電圧の低減と移動度の向上を実現した⁽¹⁴⁸⁾。2008 年には、有機半導体材料の最高占有分子軌道(HOMO)と大気安定性との関係を検討した。その結果、有機半導体の HOMO 準位が 5.2 eV より小さい半導体材料では、酸素との反応によりしきい値シフトが起ること、また HOMO 準位が小さい材料ほど TFT 素子のオフ電流が増大することが観測された。さらに、TFT の移動度低下は絶縁膜界面の問題ではなく、有機半導体の化学的安定性に依存することなど、TFT 設計・試作に重要な知見を得ることができた⁽¹⁴⁹⁾。

以上の研究は、栗田泰市郎、時任静士、菊池 宏、飯野芳樹、藤掛英夫、井上陽司、河北真宏、武井達哉、藤崎好英、佐藤弘人、鈴木鉄男、中嶋宜樹、およびポストドクターの八尋正幸、梅田時由、熊木大介が主に担当した。

[藤崎 好英]

10.6 スピン注入型空間光変調器

2006 年より立体表示デバイスや大容量ホログラム記録への応用を目指し、スピン注入技術を利用した高精度・高速なスピン注入型空間光変調器の研究を開始した。スピン注入型空間光変調器は磁性体のスピン注入磁化反転技術と磁気光学効果を組み合わせたもので、原理的に画素サイズ $1 \mu\text{m}$ 以下、応答速度数十ナノ秒以下の高精度・高速な光変調が可能で可能なデバイスである (図 10.18)。

上部透明電極材料に酸化インジウム亜鉛 (IZO) を用い、光変調層材料には面内に磁気異方性をもつコバルト (Co)・鉄 (Fe)・シリコン (Si) 合金を用いたサイズ $120 \text{ nm} \times 300 \text{ nm}$ のスピン注入型光変調素子を作製した。この素子 3 個を 1 画素とするサンプルを作製し、スピン注入磁化反転による磁気光学効果の観測に成功した⁽¹⁵⁰⁻¹⁵⁸⁾ (図 10.19)。デバイスへの応用が容易な可視光を使った

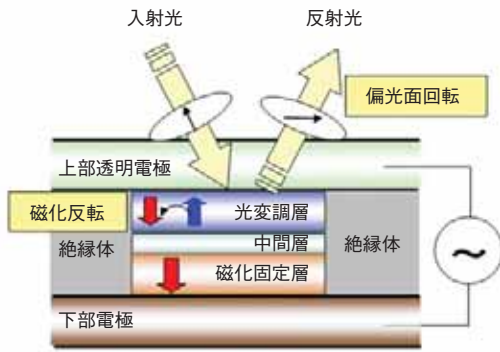


図 10.18 スピン注入型光変調素子 (断面図)

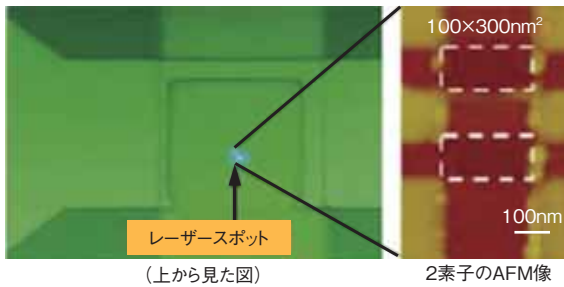


図 10.19 試作した光変調素子の光学および AFM 像 (AFM : Atomic Force Microscope、原子間力顕微鏡)

スピン注入素子の光変調の測定では初めてである。この研究は東京大学と共同で行った。

光変調度を向上させるため、光変調層の磁気光学特性の改善を図った。垂直磁気異方性をもち赤色の波長域において磁気光学効果が大きなガドリニウム (Gd)・鉄合金を用いた光変調素子を試作し、光変調膜の垂直磁化材料が電子のスピンをそろえた電流によって磁化反転することを確認した⁽¹⁵⁹⁻¹⁶⁵⁾。光変調層の地下層材料による改善効果の検討を行い、従来の面内に磁気異方性をもつコバルト・鉄・シリコン合金を用いたものに比べ、磁気光学カー回転角が 30 倍の 0.12 度に向上した。さらに、このガドリニウム・鉄合金から成る垂直磁化膜を光変調層に用いたスピン注入型光変調単素子において、銅から成る中間層と光変調層の間にスピン偏極率の高いコバルト・ニッケル (Ni) 多層膜を 5 回積層することで素子の磁気抵抗効果を 3 倍に向上させた。上部電極に透明電極を用いた素子を作製してスピン注入磁化反転実験を行い、磁気抵抗変化および光変調動作を確認した。

次に、青色の波長域においても磁気光学効果が大きく、微細加工プロセスで磁気特性が劣化しにくい白金 (Pt)・コバルト合金多層膜を光変調層に用いた素子を試作した^(166,167)。層構成や膜厚の調整とともに、作製プロセスを見直し、酸化インジウムスズ (ITO) の上部透明電極を形成した光変調素子で、波長 405 nm で磁気カー回転角 0.23 度を実現した⁽¹⁶⁸⁾。

光変調素子に適した材料の探索や特性向上のため、光ポンププローブ法を用いた評価を行った。ガドリニウム・鉄合金について測定・解析を行い、磁化反転のしやすさの指標となるダンピングファクターを得た⁽¹⁶⁹⁾。また、ダンピングファクターと磁化反転電流との相関についても明らかにした。

多素子から成る空間光変調器子の設計・開発に向け、近接配置した複数の光変調素子の動作挙動について検討を行った。面内異方性をもつ磁性材料を用いた変調素子 2 個を、1 μm 以下の間隔で近接配置したサンプルを作製した。磁気抵抗効果測定、および微小磁気光学測定の結果から、電子のスピンをそろえたパルス電流を同時に流してスピン注入磁化反転をさせると、片方の素子だけが磁化反転した安定な中間状態を経て、2 素子とも磁化反転した最終状態の 2 段階に遷移することを見いだした⁽¹⁷⁰⁻¹⁷³⁾。マイクロ磁気シミュレーションを用いた磁化反転機構の解析により、スピン注入磁化反転に特有の現象であることを明らかにした。これにより、複数素子を 1 つの画素として用いる階調表示の可能性があることがわかった。また、スピン注入型光変調素子のアレー化に向けて、電極構造を設計・試作した。

サブミクロンサイズの素子の光変調動作の磁気光学像観察を目指し、短波長の光源と高解像度の対物レンズを組み合わせた磁気光学観察評価装置を試作した。サブミクロンの素子の光学像を観察し、スピン注入磁化反転による偏光の明暗像観察の見通しを得た⁽¹⁷⁴⁻¹⁷⁶⁾。

スピン注入磁化反転の駆動電流の低減を目指して、磁化固定層と光変調層の組成を検討した。磁化固定層にはテルビウム (Tb)・鉄・コバルト合金の垂直磁気異方性膜を導入し、組成および膜厚を変えることで保磁力を制御した。駆動電流の大幅な低減を図るため、トンネル電流を用いたスピン注入型素子を試作した。トンネル障壁膜の材料として酸化マグネシウム (MgO) を使い、光変調層の垂直磁気異方性を改善した垂直磁化トンネル接合を作製し、スピン注入磁化反転動作に必要な磁気抵抗効果を確認した⁽¹⁷⁷⁾。

この研究開発の一部は、2007 年から長岡技術科学大学との共同研究として行い、2009 年からは (独) 情報通信研究機構 (NICT) の委託研究「革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発」の中で実施した。

以上の研究は、清水直樹、久我 淳、山本敏裕、河村 紀一、青島賢一、町田賢司、宮本泰敬、船橋信彦、および橋本佑介 (ポストドクター) が主に担当した。

〔清水 直樹〕

文 献

- (1) H. S. Jeong, Y. Murakami, M. Seki and H. Murakami : Discharge Characteristics with Respect to Width of Address Electrode Using Three-dimensional Analysis, IEEE Trans. Plasma Science, Vol. 29, No. 3, pp. 559-565 (2001)
- (2) K. Ishii, Y. Hirano, Y. Murakami and K. Tachibana : Spatiotemporal Behavior of Excited Atoms in a Discharge Cell of a High-resolution AC PDP, Proceedings of the 12 th International Display Workshops (IDW) in conjunction with Asia Display 2005, pp. 1491-1494 (2005)
- (3) Y. Hirano, K. Ishii, Y. Motoyama and Y. Murakami : Analysis of the Discharge and VUV Radiation Characteristics of a Ultra-high-resolution PDP Cell by 3-D Computer Simulation, Conference Record of the 26 th International Display Research Conference (IDRC), pp. 282-285 (2006)
- (4) 村上 : スーパーハイビジョンに向けた超高精細プラズマディスプレイの開発, 映情学誌, Vol. 63, No. 12, p. 1723 および pp. 1748-1752 (2009)
- (5) K. Ishii, Y. Hirano, Y. Murakami, M. Yoshinari, T. Ishibashi, T. Komaki, N. Kikuchi and I. Sumita : Development of 0.3 mm Pixel Pitch High-resolution AC-PDP for Super Hi-Vision Broadcasting System, Conference Record of the 26 th International Display Research Conference (IDRC), pp. 199-202 (2006)
- (6) 石井, 村上, 村上, 三橋, 武居 : PDP 用緑色ナノ粒子蛍光体の発光特性, 映情学冬大, 3-7 (2006)
- (7) Y. Hirano, Y. Murakami, M. Kumoi and R. Murai : Analysis of the Display Characteristics of a Large-screen Ultra-high-definition PDP by a New Plasma Array Simulation, Proceedings of the 16 th International Display Workshops (IDW), PDP 1-4 L, pp. 917-918 (2009)
- (8) 薄井, 石井, 平野, 高野, 村上 : 主観評価によるマルチライン同時走査を用いた PDP の画質, 信学技報, EID 2008-63, pp. 53-56 (2009)
- (9) 石井, 武井, 後沢, 山本, 関, 村上, 上田, 河井, 加藤 : 対角放電電極構造による陽光柱発光型 DC プラズマディスプレイパネルの放電発光特性, 信学論 C, Vol. J 90-C, No. 3, pp. 281-290 (2007)
- (10) 石井, 山本, 加藤, 河井, 上田, 武井, 栗山, 関 : 陽光柱 PDP の動作解析, 映情学年次大, 25-4 (2000)
- (11) 上田, 後沢, 石井, 高野 : 屈曲した放電路を有する陽光柱 PDP, 信学技報, EDI 2000-6, pp. 27-32 (2000)
- (12) 石井, 平野, 本山, 村上 : 陽光柱 PDP セル内の励起粒子密度と発光効率の関係, 信学技報, EID-2002-87, pp. 5-8 (2003)
- (13) K. Ishii, Y. Hirano and Y. Murakami : Spatio-Temporal Effect of Gas Pressure on Excited Xe Atoms in Ultrafine Pixel Pitch AC Plasma Display Panels, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 6, pp. 4710-4714 (2008)
- (14) K. Ishii, Y. Hirano and Y. Murakami : Gap Length-Dependent Excited Xe-Atom Density Distribution in Superfine-Pitch Discharge Cells for Coplanar-Structure Plasma Display Panels, IEEE Transaction on Plasma Science, Vol. 36, No. 4, pp. 1192-1193 (2008)
- (15) 加藤, 本山, 石井, 薄井, 平野, 村上 : SrCaO を電極保護膜に用いた超高精細 PDP の放電特性, 映情学冬大, 2-10 (2008)
- (16) Y. Hirano, T. Usui, K. Ishii and Y. Murakami : High-Luminance Ultra-High-Resolution PDPs with Twin-path Coplanar Discharge Cells, Society for Information Display '09 Digest, 7.3, pp. 63-65 (2009)
- (17) Y. Motoyama, H. Matsuzaki, Y. Takano and H. Murakami : Calculation of Secondary Electron Yield of Insulator, International Display Workshops '00 Proc., pp. 799-802 (2000)
- (18) Y. Motoyama, H. Matsuzaki and H. Murakami : A study of the secondary electron yield γ of insulator cathodes for Plasma Display Panels, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-48, No. 8, pp. 1568-1574 (2001)
- (19) Y. Motoyama and Y. Hirano : Secondary Electron Yield of MgO for Ionized and Metastable Rare-Gas Molecules, International Display Manufacturing Conference & FPD Expo '03 Proc., pp. 683-686 (2003)
- (20) Y. Motoyama, Y. Hirano, K. Ishii, Y. Murakami and F. Sato : Influence of defect states on the secondary electron emission yield γ from MgO surface, J. Appl. Phys, Vol. 95, No. 12, pp. 8419-8424 (2004)
- (21) Y. Motoyama and F. Sato : Calculation of Secondary Electron emission yield γ from MgO surface, IEEE Trans. Plasma Science, Vol. 34, No. 2, pp. 336-342 (2006)
- (22) Y. Motoyama and T. Kurauchi : Protective Layer for High-Efficiency PDPs Driven at Low Voltage, International Display Research Conference 2005, 16.2, pp. 205-208 (2005)
- (23) Y. Motoyama and T. Kurauchi : Protective layer for high-efficiency PDPs driven at low voltage, J. Soc. Inf. Display, Vol. 14, pp. 487-492 (2006)
- (24) Y. Motoyama and T. Kurauchi : SrCaO protective layer for high-efficiency PDPs, Society for Information Display '06 Digest, pp. 1384-1387 (2006)
- (25) Y. Motoyama, Y. Murakami, M. Seki, T. Kurauchi and N. Kikuchi : SrCaO protective layer for high-efficiency PDPs, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-54, No. 6, pp. 1308-1314 (2007)
- (26) Y. Motoyama, M. Seki, K. Ishii, Y. Hirano and Y. Murakami : Discharge Characteristics of a Color PDP with SrCaO Protective layer, International Display Workshops '07 Proc., pp. 813-814 (2007)
- (27) 加藤, 本山, 関 : SrCaO 電極材料における放電電圧の大気中加熱温度依存性, 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 19 a-ZG-4, p. 148 (2010)
- (28) 本山, 加藤, 関, 石井 : CaO 電極材料における放電遅れの改善, 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 19 a-ZG-5, p. 149 (2010)
- (29) Y. Hirano, Y. Murakami, Y. Takano and H. S. Jeong : 3-D Computer Simulation of Spatio-Temporal Evolution of Discharge from Writing to Sustaining Stage in an AC-Type

- PDP Cell, Proceedings of AD/IDW '01, pp. 889–892 (2001)
- (30) Y. Hirano, Y. Murakami, K. Ishii and K. Tachibana : 3-D Simulation of Sustain Discharge with Auxiliary Pulse in an AC-PDP, Proceedings of IDW '03, pp. 1061–1064 (2003)
- (31) K. Ishii, Y. Hirano, Y. Motoyama, Y. Murakami and K. Tachibana : Dependence of VUV band emission from Xe^*_2 dimers on gas pressure in fine pitch AC PDP, Proceedings of IDW '04, pp. 999–1002 (2004)
- (32) Y. Hirano, K. Ishii and Y. Murakami : Influence of Permittivity of Dielectric Layer on Discharge Characteristics in High-Resolution AC PDP, Proceedings of IDW '05, pp. 1539–1542 (2005)
- (33) 平野, 石井, 本山, 村上 : 高精細 AC 型 PDP における放電開始電圧の検討, 映情学年次大, 3–3 (2006)
- (34) 平野, 小田, 村上 : プラズマディスプレイ放電特性に及ぼす O_2 添加の影響, 電学研資, LAV-07-9, pp. 13–16 (2007)
- (35) Y. Kamiya, Y. Hirano, A. Oda, K. Ishii, Y. Murakami and H. Hiramoto : Influence of Gas Impurities on the Discharge Characteristics of an AC PDP, Proceedings of IDW '09, pp. 919–922 (2009)
- (36) K. Ishii, Y. Murakami, Y. Hirano, S. Kubota, T. Sakurai and H. Yoda : Measurements of Surface Charge and Voltage in a Discharge Cell with 100- μ m Gap Coplanar Structure Using Electro-Optic Crystal, Proceedings of IDW '07, pp. 869–872 (2007)
- (37) T. Sakurai, H. Yoda, T. Terayama, K. Ishii and Y. Murakami : Surface Charges in a Coplanar-Electrode Micro-gap Discharge Measured at Various Gas Pressures Using an Electrooptic Crystal, Jpn. J. Appl. Phys., No. 46, pp. 235–237 (2007)
- (38) 村上, 近藤 : パルス放電プラズマ中における電子スオームの電子緩和過程の解析(Ⅲ), 第 53 回応用物理学関係連合講演会, No. 1, p. 172 (2006)
- (39) Y. Sonoda, A. Akune, K. Tomita, S. Hassaballa, K. Uchino, K. Ishii, Y. Hirano and Y. Murakami : Diagnostics of PDP Micro-Discharge Plasmas Using Infrared Laser Thomson Scattering System, Proceedings of IDW '07, pp. 861–864 (2007)
- (40) Y. Hirano, K. Ishii and Y. Murakami : A Method of Visualizing the Energy Translation Process of Excited Xe Atoms in the Microdischarge Cells of Plasma Display Panels, IEEE Tran. Plasma Science, Vol. 36, No. 4, pp. 1180–1181 (2008)
- (41) 山本, 萩原, 関, 平川, 小野, 三浦, 村上 : グラファイトナノファイバを用いた冷陰極ディスプレイの基礎検討, 映情学技報, Vol. 26, No. 39, pp. 29–34 (2002)
- (42) K. Hagiwara, M. Ushirozawa, K. Tanaka, S. Okamoto and T. Yamamoto : Field Emission Display with Graphite Nanofiber Emitter Fabricated by Low-Temperature Process, Proc. of Int. Display Research Conference (IDRC '03), pp. 161–164 (2003)
- (43) D. Noda, K. Hagiwara, T. Yamamoto and S. Okamoto : Electron Emission Properties of ZnS-Based Thin-Film Cold Cathode, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 6 A, pp. 4108–4111 (2005)
- (44) 山本, 武井, 萩原, 堺, 村上, 後沢, 山本, 村上, 三浦, 平川, 中野, 岡坂, 浅見, 金子, 佐々木 : グラファイトナノファイバを用いた FED の製作及びその基本特性, 映情学技報, Vol. 28, No. 3, pp. 41–44 (2004)
- (45) 後沢, 山本, 武井, 山本, 萩原, 堺, 村上, 平川, 中野, 佐々木, 岡坂 : グラファイトナノファイバを用いた FED, 真空ナノエレクトロニクスシンポジウム予稿集, pp. 87–92 (2004)
- (46) 堺, 後沢, 山本, 三村, 根尾, 横尾 : グラファイトナノファイバFEA からの放出電子のエネルギー分析による電子ビーム発散の評価, 第 66 回応物秋季予稿集, p. 636 (2005)
- (47) 室井, 後沢, 山本, 佐藤 : 計算機シミュレーションによる 3 極型 FED 用冷陰極におけるエミッション面積拡大と電子ビーム小径化の検討, 信学論 C, Vol. J 87-C, No. 7, pp. 575–582 (2004)
- (48) 武井, 萩原, 堺, 室井, 後沢, 山本 : グラファイトナノファイバを用いた 5 インチフルカラー FED, 映情学技法, Vol. 30, No. 7, pp. 57–60 (2006)
- (49) K. Hagiwara, T. Takei, T. Sakai, T. Muroi, M. Ushirozawa and T. Yamamoto : Full Color Graphite Nanofiber FED with 0.15 mm Pixel Pitch, Proc. of Int. Display Workshops (IDW '05), pp. 1663–1666 (2005)
- (50) K. Hagiwara, T. Sakai, M. Ushirozawa and N. Saito : Diameter Control of Graphite Nanofiber Emitter for Field Emission Display Using Granulated Catalyst Thin Film, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 47, No. 11, pp. 8534–8536 (2008)
- (51) I. Tanaka, Y. Inoue, S. Okamoto, K. Tanaka, Y. Izumi, M. Kawanishi, N. Miura, H. Matsumoto and R. Nakano : Composition and Luminescent Properties of Blue-Emitting $BaAl_2Si_4:Eu$ Electroluminescent Thin Films, Proc. EL 00, Hamamatsu, pp. 125–128 (2000)
- (52) I. Tanaka, Y. Inoue, K. Tanaka, Y. Izumi, S. Okamoto, M. Kawanishi, N. Miura, H. Matsumoto and R. Nakano : Crystallographic and luminescent characterizations of blue-emitting $BaAl_2Si_4:Eu$ Electroluminescent thin films, J. Lumin. 96, pp. 96–74 (2002)
- (53) K. Tanaka and S. Okamoto : Blue-emitting $BaAl_2Si_4:Eu$ Electroluminescent Thin Films Grown by Molecular Beam Epitaxy System, Proc. of IDW '05, pp. 1625–1628 (2006)
- (54) S. Okamoto, T. Honma, K. Tanaka, R. Guo and N. Miura : Local Structures around Ba^{2+} and Eu^{2+} Ions in Blue Luminescent $BaAl_2Si_4:Eu$ Thin Films, Proc. of IDW '07, pp. 925–928 (2007)
- (55) 田中, 岡本, 田中, 井上, 和泉 : 薄膜 EL 素子の量子効率, 第 61 回応用物理学学会学術講演会, 3p-ZK-5 (2000)
- (56) Y. Izumi, S. Okamoto, K. Takizawa and K. Tanaka : Improvement of the light out-coupling properties in inorganic thin-film electroluminescent devices, Proc. of IDW '01, PHp 2-2 (2001)
- (57) K. Tanaka and S. Okamoto : Green electroluminescence of $EuGa_2S_4$ thin-films, Appl. Phys. Lett., Vol. 83, No. 4, pp. 647–649 (2003)

- (58) K. Tanaka, S. Okamoto and Y. Izumi : SrS:Ce-Buried Thin-Film Electroluminescent Devices, Proc. of IDW '02, pp. 923-926 (2002)
- (59) 堺, 岡本, 田中 : 集塗布法による無機薄膜 EL デバイスの作製, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 31 a-P 8-9 (2009)
- (60) 堺, 岡本, 田中 : 誘電体ナノ粒子溶液を用いた無機 EL 用絶縁層の塗布形成, 第 70 回応用物理学学会学術講演会, 10 a-TD-3 (2009)
- (61) 岡本, 堺, 田中, 村上 : 放送用モニターをめざした無機 EL デバイス, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 31 a-P 8-7 (2009)
- (62) K. Tanaka, S. Okamoto, H. Kominami, Y. Nakanishi, X. Du and A. Yoshikawa : Cathodoluminescence properties of blue-emitting SrGa₂S₄:Ce thin-films grown by low-temperature process, J. Appl. Phys., Vol. 92, No. 2, pp. 834-837 (2002)
- (63) K. Tanaka and S. Okamoto : Hot hole excitation of green electroluminescent EuGo₂S₄ thin film, Appl. Phys. Lett., Vol. 85, No. 6, pp. 923-925 (2004)
- (64) K. Tanaka and S. Okamoto : Hot carrier type exchange in inorganic electroluminescent thin films, Appl. Phys. Lett. Vol. 89, No. 20, p. 203508 (2006)
- (65) K. Tanaka and S. Okamoto : Hot carrier Behavior and Excitation Process in Blue-Electroluminescent BaAl₂S₄:Eu Thin-Films, Proc. of IDW'06, pp. 1207-1210 (2006)
- (66) K. Tanaka and S. Okamoto : Hot hole excitation in red emitting SrGa₂S₄:Ce, Mn thin film, The 15 th International Conference on Luminescence and Optical Spectroscopy of Condensed Matter (ICL'08), WeA 3-O 3, p. 81 (2008)
- (67) S. Okamoto, S. Aihara and K. Tanaka : Red Photoluminescence Properties of SrGa₂S₄ Phosphors Co-Activated by Mn and Rare-Earth Ions, International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence and 2008 International Conference on the Science and Technology of Emissive Displays and Lighting, abstract 3-06-PO (2008)
- (68) Y. Tsuchiya : Photoluminescence Properties of Eu-Activated Y₂O₃-SrF₂ Powders, Proc. of IDW '05, pp. 525-528 (2005)
- (69) S. Okamoto, Y. Fukui, Y. Shimamura, N. Miyamoto, K. Tanaka and T. Suzuki : Blue Luminescent ZnS:Ce Phosphors Coactivated with Trivalent Ions, Journal of Electrochemical Society Vol. 154, No. 11, pp. 383-386 (2007)
- (70) 堺, 田中, 岡本 : SrGa₂S₄:Bi 蛍光体のフォトルミネッセンス特性, 照明学会誌, Vol. 93, No. 11, pp. 798-801 (2009)
- (71) H. Fujikake, T. Murashige, H. Sato, Y. Iino, M. Kawakita and H. Kikuchi : Flexible Ferroelectric Liquid-Crystal Devices Containing Fine Polymer Fibers, J. Soc. Inform. Disp., Vol. 10, No. 1, pp. 95-99 (2002)
- (72) H. Fujikake, J. Yonai, H. Sato, Y. Tsuchiya, H. Kikuchi, Y. Iino, M. Kawakita and K. Takizawa : Free-Standing Polymer-Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal Film : Chemical Study of Phase Separation, Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 365, pp. 397-404 (2001)
- (73) 佐藤, 藤掛, 飯野, 河北, 菊池 : プラスティックフィルム基板を用いたポリマー安定化強誘電性液晶素子の印刷形成, 映情学誌, Vol. 56, No. 6, pp. 1001-1006 (2002)
- (74) H. Sato, H. Fujikake, Y. Iino, M. Kawakita and H. Kikuchi : Flexible Grayscale Ferroelectric Liquid Crystal Devices Containing Polymer Walls and Networks, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 41, No. 8, pp. 5302-5306 (2002)
- (75) H. Sato, H. Fujikake, H. Kikuchi and T. Kurita : Rollable Polymer-Stabilized Ferroelectric Liquid Crystal Device Using Thin Plastic Substrates, Opt. Rev., Vol. 10, No. 5, pp. 352-356 (2003)
- (76) H. Sato, H. Fujikake, H. Kikuchi, T. Kurita and F. Sato : Rollable Ferroelectric Liquid Crystal Devices Monostabilized with Molecular Aligned Polymer Walls and Networks, Liq. Cryst., Vol. 32, No. 2, pp. 221-227 (2005)
- (77) H. Sato, H. Fujikake, T. Murashige, H. Kikuchi, T. Kurita and F. Sato : A4-sized Flexible Ferroelectric Liquid Crystal Displays with Micro Color Filters, J. Soc. Inform. Disp., Vol. 13, No. 6, pp. 461-468 (2005)
- (78) H. Fujikake, H. Sato, T. Murashige, Y. Fujisaki, T. Kurita, T. Furukawa and F. Sato : Curved Ferroelectric Liquid Crystal Matrix Displays Driven by Field-Sequential-Color and Active-Matrix Techniques, Opt. Rev., Vol. 13, No. 1, pp. 14-19 (2006)
- (79) T. Murashige, H. Fujikake, H. Sato, H. Kikuchi, T. Kurita and F. Sato : Polymer Alignment Behavior with Molecular Switching of Ferroelectric Liquid Crystal, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 2, pp. L 37-L 39 (2007)
- (80) H. Fujikake and H. Sato : Flexible Display Technologies Using Ferroelectric Liquid Crystal : Low Driving-Voltage Panel Fabrication, Ferroelectrics, Vol. 364, pp. 86-94 (2008)
- (81) 村重, 藤掛, 佐藤, 菊池, 栗田 : ネマティック液晶添加によるフレキシブル強誘電性液晶パネルの配向欠陥低減, 信学論 C, Vol. J 91-C, No. 8, pp. 436-441 (2008)
- (82) H. Sato, H. Fujikake, Y. Fujisaki, S. Suzuki, D. Nakayama, T. Furukawa, H. Kikuchi and T. Kurita : A4-Sized Liquid Crystal Displays with Flexible Light Guide Plate, Proc. Int. Disp. Workshops, LCT 4-2, pp. 605-608 (2006)
- (83) Y. Fujisaki, H. Sato, H. Fujikake, Y. Inoue, S. Tokito and T. Kurita : Liquid Crystal Cells Fabricated on Plastic Substrate Driven by Low-Voltage Organic Thin-Film Transistor with Improved Gate Insulator and Passivation Layer, Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 44, No. 6 A, pp. 3728-3732 (2005)
- (84) Y. Fujisaki, H. Sato, T. Yamamoto, H. Fujikake, S. Tokito and T. Kurita : Flexible Color LCD Driven by Low-Voltage-Operation Organic TFT, J. Soc. Inform. Disp., Vol. 15, No. 7, pp. 501-506 (2007)
- (85) Y. Fujisaki, H. Sato, T. Takei, T. Yamamoto, H. Fujikake S. Tokito and T. Kurita : A5-in. Flexible Ferroelectric Liquid-crystal Display Driven by Organic Thin-film Transistors, J. Soc. Inform. Disp., Vol. 16, No. 12, pp. 1251-1257 (2008)
- (86) K. Motai, Y. Naitou, M. Kadowaki, Y. Iwamoto, K. Ichimura, H. Sato, Y. Fujisaki, T. Yamamoto, H. Fujikake and T.

- Kurita : Fabrication of Flexible Field-Sequential-Color FLCN Panels Driven by LTPS TFTs, Proc. Int. Disp. Workshops, FLX 5-2, pp. 1151-1154 (2008)
- (87) 村重, 藤掛, 池畑, 佐藤 : 液晶中におけるポリマー繊維形成のビデオ観察, 信学論 C, Vol. J 85-C, No. 9, pp. 846-852 (2002)
- (88) T. Murashige, H. Fujikake, S. Ikehata and F. Sato : Anchoring Strength of Thin Aligned-Polymer Films Formed by Liquid Crystalline Monomer, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42, No. 4 A, pp. 1614-1617 (2003)
- (89) 佐藤, 藤掛, 村重, 菊池, 栗田, 吉川, 佐藤 : 局所的な光重合相分離により液晶中に形成されたポリマの形態評価, 信学論 C, Vol. J 88-C, No. 10, pp. 818-820 (2005)
- (90) H. Kikuchi, H. Yamamoto, H. Sato, M. Kawakita, K. Takizawa and H. Fujikake : Bend-mode liquid crystal cells stabilized by aligned polymer walls, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 44, No. 2, pp. 981-989 (2005)
- (91) 笹川, 藤掛, 佐藤, 面谷 : ポリマの壁とネットワークで安定化したコレステリック液晶素子, 信学論 C, Vol. J 92-C, No. 1, pp. 26-31 (2009)
- (92) 鈴木, 藤掛, 村重, 佐藤, 菊池, 栗田, 佐藤 : 低屈折率異方性の液晶を用いたツイスト配向ゲストホスト素子の光吸収特性, 信学論 C, Vol. J 87-C, No. 8, pp. 648-654 (2004)
- (93) 藤掛, 鈴木, 佐藤, 菊池, 栗田, 佐藤 : ねじれ配向ゲストホスト液晶とポリマ壁を用いたフレキシブル反射表示素子, 信学論 C, Vol. J 90-C, No. 3, pp. 294-297 (2007)
- (94) 久保木, 藤掛, 村重, 佐藤, 菊池, 栗田, 佐藤 : 延伸多孔質ポリマを用いたツイストネマティック液晶, 信学論 C, Vol. J 86-C, No. 10, pp. 1099-1102 (2003)
- (95) 久保木, 藤掛, 村重, 佐藤, 菊池, 栗田, 佐藤 : ポリマフィラメント束によるネマティック液晶の配向, 信学論 C, Vol. J 87-C, No. 8, pp. 668-671 (2004)
- (96) H. Sato, H. Fujikake, H. Kikuchi, Y. Iino, M. Kawakita and Y. Tsuchiya : Fluorinated Polymer Alignment Layer Formed at Low Temperature for Plastic-Substrate-Based Liquid Crystal Devices, Jpn. J. Appl. Phys. Pt. 2, Vol. 40, No. 1 AB, pp. L 53-L 55 (2001)
- (97) 鈴木, 藤掛, 村重, 佐藤, 菊池, 栗田, 佐藤 : 2段階ポリマ塗布法により形成した単基板液晶素子の電圧動作特性, 信学論 C, Vol. J 89-C, No. 8, pp. 545-550 (2006)
- (98) 佐藤, 渡邊, 藤掛, 村重, 菊池, 池畑, 栗田 : 超柔軟フィルム基板を用いた液晶素子の作製プロセス, 第 53 回応用物理学会関係連合講演会, 29 a-P-20 (2006)
- (99) 佐藤, 菊池, 藤掛, 栗田 : 光インプリント法を用いたフレキシブル液晶素子の作製, 第 54 回応用物理学会関係連合講演会, 29 p-SK-9 (2007)
- (100) 光松, 佐藤, 藤掛, 滝沢, 菊池 : マイクロコンタクトブリッジング法によるハイブリッド配向膜の形成とバンド配向の安定化, 第 10 回日本液晶学会討論会, PA 06, p. 141 (2007)
- (101) 佐藤, 藤掛, 河北, 菊池, 佐藤 : 液晶偏光フィルタを応用した反射光自動抑制システムの開発, 信学論 C, Vol. J 86-C, No. 3, pp. 244-251 (2003)
- (102) 藤掛, 佐藤, 菊池, 飯野, 河北, 土屋 : 液晶減光フィルタを用いた映像撮影効果, 映情学誌, Vol. 55, No. 10, pp. 1322-1328 (2001)
- (103) 藤掛, 佐藤, 飯野, 河北, 菊池, 佐藤 : 色温度を上げる液晶フィルタの設計と試作, 映情学誌, Vol. 56, No. 9, pp. 1475-1480 (2002)
- (104) I. Tanaka, Y. Inoue, N. Ishii, Y. Izumi, K. Tanaka and S. Okamoto : Selective heat-transfer dye diffusion technique using laser irradiation for polymer electroluminescent devices, Displays, Vol. 23, No. 5, pp. 249-253 (2002)
- (105) S. Tokito, M. Suzuki and F. Sato : Highly Efficient RGB Emission from Polymer Light-emitting Diodes Using Phosphorescent Polymers, Proceeding of EL 2002, pp. 283 (2002)
- (106) S. Tokito, M. Suzuki, F. Sato, M. Kamachi and K. Shirane : High-efficiency phosphorescent polymer light-emitting devices, Organic Electronics, Vol. 4, No. 2-3, pp. 105-111 (2003)
- (107) S. Tokito, M. Suzuki and F. Sato : Phosphorescent-Polymer OLEDs, Information Display, Vol. 19, No. 6, pp. 22-24 (2003)
- (108) S. Tokito, M. Suzuki and F. Sato : Improvement of emission efficiency in polymer light-emitting devices based on phosphorescent polymers, Thin Solid Films, Vol. 445, No. 2, pp. 353-357 (2003)
- (109) M. Suzuki, S. Tokito, M. Kamachi, K. Shirane and F. Sato : White Light Emission from Polymer Light-Emitting Devices Based on Blue and Red Phosphorescent Polymers, J Photopolym. Sci. Tec., Vol. 16, No. 2, pp. 309-314 (2003)
- (110) M. Suzuki, T. Hatakeyama, S. Tokito and F. Sato : High-Efficiency White Phosphorescent Polymer Light-Emitting Devices, IEEE J Sel. Top. Quant., Vol. 10, No. 1, pp. 115-120 (2004)
- (111) M. Suzuki, S. Tokito, F. Sato, T. Igarashi, K. Kondo, T. Koyama and T. Yamaguchi : Highly efficient polymer light-emitting devices using ambipolar phosphorescent polymers, Appl Phys. Lett., Vol. 86, No. 10, 103507 (2005)
- (112) I. Tanaka, Y. Tabata and S. Tokito : Energy-transfer and light-emission mechanism of blue phosphorescent molecules in guest-host systems, Chem. Phys. Lett., Vol. 400, No. 1-3, pp. 86-89 (2004)
- (113) I. Tanaka, Y. Tabata and S. Tokito : Comparison of Phosphorescence Properties of Green-Emitting Ir (ppy)₃ and Red-Emitting Btp₂Ir (acac), Jpn. J Appl. Phys., Vol. 43, No. 12 B, pp. L 1601-L 1603 (2004)
- (114) S. Tokito, T. Iijima, T. Tsuzuki and F. Sato : Confinement of triplet energy on phosphorescent molecules for highly-efficient organic blue-light-emitting devices, Appl. Phys. Lett., Vol. 83, No. 3, pp. 569-571 (2003)
- (115) M. Suzuki, T. Tsuzuki, T. Kurita, T. Koyama, T. Yamaguchi, T. Furukawa and S. Tokito : Fabrication of a Flexible Phosphorescent OLED Display by Ink-Jet Printing, Proceedings of IDW '05, pp. 601-604 (2005)
- (116) I. Tanaka and S. Tokito : Fabrication of a Flexible Phosphorescent OLED Display by Ink-Jet Printing, J Appl. Phys.,

- Vol. 97, No. 11, 113532 (2005)
- (117) T. Tanaka, Y. Tabata and S. Tokito : Observation of phosphorescence from tris (8-hydroxyquinoline) aluminum thin films using triplet energy transfer from iridium complexes, *Physical Review B*, Vol. 71, No. 20, 205207 (2005)
- (118) I. Tanaka, Y. Tabata and S. Tokito : Forster and Dexter energy-transfer processes in fluorescent BAQ thin films doped with phosphorescent Ir(ppy)₃ molecules, Vol. 99, No. 7, 073501 (2006)
- (119) T. Tsuzuki, N. Shirasawa, T. Suzuki and S. Tokito : Organic Light-Emitting Diodes Using Multifunctional Phosphorescent Dendrimers with Iridium-Complex Core and Charge-Transporting Dendrons, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 6 A, pp. 4151-4154 (2005)
- (120) T. Tsuzuki and S. Tokito : Highly Efficient Phosphorescent Organic Light-Emitting Diodes Using Alkyl-Substituted Iridium Complexes as a Solution-Processible Host Material, *Appl. Phys. Express*, Vol. 1, No. 2, 021805 (2008)
- (121) T. Tsuzuki and S. Tokito : Highly efficient and stable organic light-emitting diode using 4,4-bis(N-carbazolyl)-9,9-spirobifluorene as a thermally stable host material, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 94, No. 3, 033302 (2009)
- (122) H. Fukagawa, K. Watanabe, T. Tsuzuki and S. Tokito : Highly efficient, deep-blue phosphorescent organic light emitting diodes with a double-emitting layer structure, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 93, No. 13, 133312 (2008)
- (123) H. Fukagawa, K. Watanabe and S. Tokito : Efficient white organic light emitting diodes with solution processed and vacuum deposited emitting layers, *Organic Electronics*, Vol. 10, No. 5, pp. 798-802 (2009)
- (124) 深川, 横山, 入佐, 時任 : アダマンタン誘導体を用いた低電圧駆動青色リン光有機 EL 素子, 2009 年第 9 回有機 EL 討論会例会予稿集, pp 33-34 (2009)
- (125) 本村, 花鳥, 芝田, 鈴木, 名取, 加藤, 時任 : リン光性高分子材料における電荷輸送性の制御, 2009 年第 9 回有機 EL 討論会例会予稿集, pp 19-20 (2009)
- (126) M. Suzuki, T. Suzuki, T. Tsuzuki, S. Tokito, T. Kurita and F. Sato : Flexible Color OLED Display using White Light-Emitting Layer based on Phosphorescent Polymers, *Proc. of 11 th Int. Display Workshops, OLED 2-2*, pp. 1277-1280 (2004)
- (127) M. Suzuki, T. Tsuzuki, S. Tokito, T. Kurita, F. Sato, T. Koyama, T. Yamaguchi and T. Furukawa : Pixel Patterning of Phosphorescent Materials by Ink-Jet Printing for Flexible Color OLED Display, *Proc. of 25 th International Display Research Conference (EuroDisplay 2005)*, 2.3, pp. 14-17 (2005)
- (128) Y. Inoue, Y. Fujisaki, T. Suzuki, S. Tokito, T. Kurita, M. Mizukami, N. Hirohata, T. Tada and S. Yagyu : Active-Matrix OLED Panel Driven by Organic TFTs, *Proc. of 11 th Int. Display Workshops, AMD 8-2*, pp. 355-358 (2004)
- (129) M. Mizukami, N. Hirota, T. Iseki, K. Ohtawara, T. Tada, S. Yagyu, T. Abe, T. Suzuki, Y. Fujisaki, Y. Inoue, S. Tokito and T. Kurita : Flexible AM OLED Panel Driven by Bottom-Contact OTFTs, *IEEE Electron. Dev. Lett.*, 27, pp. 249-251 (2006)
- (130) 中嶋, 武井, 山本, 時任 : 有機 TFT 駆動によるフレキシブル有機 EL ディスプレイ, *OPTRONICS*, No. 299, pp. 148-152 (2006)
- (131) 山本, 藤崎, 中嶋, 佐藤, 藤掛, 時任, 栗田 : 有機 TFT を用いたフレキシブルディスプレイパネルの動作特性, *映情学年次大*, 9-7 (2007)
- (132) 藤崎, 中嶋 : 有機 TFT 駆動フレキシブルディスプレイ, *月刊ディスプレイ*, Vol. 14, No. 2, pp. 64-70 (2008)
- (133) Y. Nakajima, T. Takei, T. Tsuzuki, M. Suzuki, H. Fukagawa, T. Yamamoto and S. Tokito : Fabrication of 5.8-in. OTFT-driven flexible color AMOLED Display using dual protection scheme for organic semiconductor patterning, *J. Soc. Info. Display*, 17/8, pp. 629-634 (2009)
- (134) M. Suzuki, H. Fukagawa, Y. Nakajima, T. Tsuzuki, T. Takei, T. Yamamoto and S. Tokito : 5.8-inch Phosphorescent Color AM-OLED Display driven by OTFTs on Plastic Substrate, *Proc. of 15 th Int. Display Workshops, FLX 5-3*, pp. 1515-1518 (2008)
- (135) Y. Iino, Y. Inoue, Y. Fujisaki, H. Fujikake, H. Sato, M. Kawakita, S. Tokito and H. Kikuchi : Organic Thin-Film Transistors on a Plastic Substrate with Anodically Oxidized High-Dielectric-Constant Insulators, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 42, No.1, pp. 299-304 (2003)
- (136) Y. Fujisaki, Y. Inoue, T. Kurita, S. Tokito, H. Fujikake and H. Kikuchi : Improvement of Characteristics of Organic Thin-Film Transistor with Anodized Gate Insulator by an Electrolyte Solution and Low-Voltage Driving of Liquid Crystal by Organic Thin-Film Transistors, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 43, No. 1, pp. 372-377 (2004)
- (137) Y. Inoue, S. Tokito, T. Suzuki, K. Ito and T. Suzuki : Organic thin film transistors based on anthracene oligomers, *J. Appl. Phys.*, Vol. 95, No. 10, pp. 5795-5799 (2004)
- (138) S. Sakamoto, T. Suzuki, M. Kobayashi, G. Yuan, Y. Fukai, Y. Inoue, F. Sato, and S. Tokito : Perfluoropentacene : High-Performance p-n Junctions and Complementary Circuits with Pentacene, *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 126, pp. 8138-8140 (2004)
- (139) D. Kumaki, S. Ando, T. Shimono, Y. Yamashita, T. Umeda and S. Tokito : Significant improvement of electron mobility in organic thin-film transistors based on thiazolothiazole derivative by employing self-assembled monolayer, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 90, pp. 053506-053508 (2007)
- (140) T. Umeda, D. Kumaki and S. Tokito : High-mobility and air-stable organic thin-film transistors with highly ordered semiconducting polymer films, *J. Appl. Phys.*, Vol. 101, pp. 054517-054521 (2007)
- (141) 梅田, 熊木, 時任 : 非晶質フルオロポリマー絶縁膜を用いた有機 TFT の安定動作, 第 68 回応用物理学会学術講演会, No. 3, 5 a-D-10, p. 1343 (2007)
- (142) H. Kikuchi, Y. Uchida, Y. Fujisaki, H. Sato, H. Fujikake, T.

- Kurita, K. Takizawa, and F. Sato : Orientation of Organic Semiconductor Films on Photoreactive Polyimide Films and its Influence on Field-Effect Transistor Characteristics, *Material Research Society Proceedings*, Vol. 871 E, pp. I 3.7.1-I 3.7.6 (1994)
- (143) D. Kumaki, M. Yahiro, Y. Inoue and S. Tokito : Air stable, high performance pentacene thin-film transistor fabricated on SiO₂ gate insulator treated with β -phenethyltrichlorosilane, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 90, pp. 133511-133513 (2007)
- (144) D. Kumaki, T. Umeda and S. Tokito : Influence of H₂O and O₂ on threshold voltage shift in organic thin-film transistors : Deprotonation of SiOH on SiO₂ gate-insulator surface, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 92, pp. 093309-093311 (2008)
- (145) T. Umeda, D. Kumaki and S. Tokito : High air stability of threshold voltage on gate bias stress in pentacene TFTs with a hydroxyl-free and amorphous fluoropolymer as gate insulators, *Org. Electron.*, Vol. 9, pp. 545-549 (2008)
- (146) Y. Fujisaki, D. Kumaki, Y. Nakajima, T. Yamamoto, H. Fujikake and S. Tokito : Stable bottom-contact organic thin film transistor array with fluoropolymer dielectric for flexible displays, *Proc of the 16 th IDW*, AMD 6-3, pp. 721-724 (2009)
- (147) 梅田, 熊木, 時任 : 高移動度高分子 TFT の作製 : フッ素系 SAM の効果, 第 55 回応用物理学関係連合講演会, No. 3, 29 a-ZE-11, pp. 1405 (2008)
- (148) D. Kumaki, T. Umeda and S. Tokito : Reducing the contact resistance of bottom-contact pentacene thin-film transistors by employing a MoOx carrier injection layer, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 92, pp. 013301-013303 (2008)
- (149) 熊木, 時任 : 有機薄膜トランジスタの界面制御, 日本學術振興会 142 委員会 C 部会 (2010)
- (150) K. Aoshima, N. Funabashi, K. Machida, Y. Miyamoto, N. Kawamura, K. Kuga, N. Shimidzu, F. Sato, T. Kimura and Y. Otani : Spin transfer switching in current-perpendicular-to-plane spin valve observed by magneto-optical Kerr effect using visible light, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 91, No. 5, 052507 [3 p.] (2007)
- (151) 船橋, 青島, 町田, 宮本, 河村, 久我, 清水 : スピン注入磁化反転における素子間クロストークの影響, 第 31 回日本応用磁気学会, 14 aC-112 (2007)
- (152) K. Aoshima, N. Funabashi, K. Machida, Y. Miyamoto, N. Kawamura, K. Kuga, N. Shimidzu, F. Sato, T. Kimura and Y. Otani : Current-perpendicular-to-plane spin valve with transparent top electrode for magneto-optical observation of spin transfer switching, *Magneto-Optical Recording International Symposium (MORIS 2007) Workshop on Thermal and Optical Magnetic Materials and Devices*, PA 10 (2007)
- (153) Y. Miyamoto, K. Machida, N. Funabashi, N. Kawamura, K. Aoshima, K. Kuga and N. Shimidzu : In-situ observation of magnetic domain wall motion in magnetic nanowires with magneto-optical imaging, 53 rd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials Abstracts, AS-15 (2008)
- (154) K. Aoshima, N. Funabashi, K. Machida, Y. Miyamoto, N. Kawamura, K. Kuga, N. Shimidzu, T. Kimura, Y. Otani and F. Sato : Magneto-optical and spin transfer switching properties of current-perpendicular-to plane spin valves with perpendicular magnetic anisotropy, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 44, No. 11 part 1, pp. 2491-2495 (2008)
- (155) 船橋, 青島, 町田, 久我, 清水 : 絶縁層材料による CPP-GMR 素子の磁気特性改善, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, No. 2, 1 a-TB-1 (2009)
- (156) N. Funabashi, K. Aoshima, K. Machida, K. Kuga, N. Shimidzu and S. Nakagawa : Application of Si-N Insulation Layer to CPP-GMR Device, *Magnetics and Optics Research International Symposium for New Storage Technology (MORIS 2009)*, TuP-03-14 (2009)
- (157) K. Aoshima, N. Funabashi, K. Machida, Y. Miyamoto, K. Kuga, N. Shimidzu and F. Sato : An Ultra-High Definition Spatial Light Modulation Device Driven by Spin-Polarized Electrons, *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting 2009*, IEEE, 22 p 4, CFP 09 IAS-CDR (2009)
- (158) N. Funabashi, K. Aoshima, K. Machida, K. Kuga, N. Shimidzu and S. Nakagawa : Application of Si-N Insulation Layer to CPP-GMR Device, *Journal of the Magnetics Society of Japan*, Vol. 33, No. 6-2, pp. 521-524 (2009)
- (159) 青島, 大原, 船橋, 町田, 宮本, 久我, 清水 : 垂直異方性をもった GdFe スピンバルブ膜の磁気光学および磁気特性, 第 55 回応用物理学関係連合講演会, No. 2, 29 p-F-14 (2008)
- (160) N. Funabashi, K. Aoshima, K. Machida, Y. Miyamoto, N. Kawamura, K. Kuga, N. Shimidzu, T. Kimura and Y. Otani : Magneto-optical Kerr effect in 100 nm-size spin valve pillars with transparent electrode, *Nanotech in Japan*, P-15 (2008)
- (161) K. Aoshima, N. Funabashi, K. Machida, Y. Miyamoto, N. Kawamura, K. Kuga, N. Shimidzu, T. Kimura and Y. Otani : Magneto-optical and spin transfer switching properties of current-perpendicular-to-plane spin valves with perpendicular magnetic anisotropy, *International magnetism conference 2008 (INTERMAG 2008)*, AA-01 (2008)
- (162) N. Funabashi, K. Machida, K. Aoshima, Y. Miyamoto, N. Kawamura, K. Kuga and N. Shimidzu : Multi-level transitions of closely-arranged spin valve pillars by spin transfer switching, *International magnetism conference 2008 (INTERMAG 2008)*, GT-02 (2008)
- (163) 青島, 船橋, 町田, 宮本, 河村, 久我, 清水, 木村, 大谷, 佐藤 : Magneto-optical and spin transfer switching properties of current-perpendicular-to plane spin valves with perpendicular magnetic anisotropy, 日本磁気学会ナノマグネティックス研究会 (2008)
- (164) K. Aoshima, K. Kuga, N. Funabashi, K. Machida, N. Shimidzu and T. Ishibashi : MR properties of GdFe based current-perpendicular-to-plane spin valves and interface analyses, *Magnetics and Optics Research International Symposium for New Storage Technology (MORIS 2009)*, TuP-03-23 (2009)
- (165) K. Kuga, K. Aoshima, N. Funabashi, K. Machida and N.

- Shimidzu : Preparation of GdFe based spin injection light modulation films, Magnetics and Optics Research International Symposium for New Storage Technology (MORIS 2009), TuP-03-41 (2009)
- (166) 町田, 船橋, 久我, 青島, 宮本, 河村, 石橋, 清水 : Pt/Co 多層膜を用いた垂直磁化 CPP-GMR 素子のスピ注入磁化反転と磁気光学特性, 第 69 回応用物理学会学術講演会, 4 p-R-5 (2008)
- (167) 古川, 町田, 船橋, 青島, 久我, 石橋, 清水 : Pt/Co 多層膜を用いた垂直磁化 GMR 薄膜の磁気光学的評価, 映情学年次大, 2-11 (2009)
- (168) 古川, 町田, 船橋, 青島, 久我, 原, 石橋, 清水 : Pt/Co 多層膜を用いた垂直磁化 GMR 薄膜の磁気光学的評価, 日本磁気学会第 33 回学術講演概要集, 14 pF-7 (2009)
- (169) 橋本, 青島, 船橋, 久我, 清水, 宗片 : 超高速時間分解磁気光学分光法を用いたスピ注入磁化反転電流の推定, 第 70 回応用物理学会学術講演会, 10 a-ZD-20 (2009)
- (170) K. Machida, N. Funabashi, K. Aoshima, Y. Miyamoto, N. Kawamura, K. Kuga and N. Shimidzu : Spin transfer switching of closely arranged multi-pillars with current-perpendicular-to-plane spin valves, 52 nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials Abstracts, HP-10 (2007)
- (171) 町田, 船橋, 青島, 宮本, 河村, 久我, 清水, 木村, 大谷 : 近接配置した CPP-SV 素子のスピ注入磁化反転と磁気光学測定, 信学技報, Vol. 107, No. 424, MR 2007-52, pp. 37-42 (2008)
- (172) K. Machida, N. Funabashi, K. Aoshima, Y. Miyamoto, N. Kawamura, K. Kuga and N. Shimidzu : Spin transfer switching of closely arranged multiple pillars with current-perpendicular-to-plane spin valves, J. Appl. Phys., Vol. 103, No. 7, pp. 07 A 713.1-07 A 713.3 (2008)
- (173) N. Funabashi, K. Machida, K. Aoshima, Y. Miyamoto, N. Kawamura, K. Kuga and N. Shimidzu : Multi-level Transitions of Closely Arranged Spin Valve Pillars using Spin Transfer Switching, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 44, No. 11 part 1, pp. 2519-2522 (2008)
- (174) 船橋, 青島, 町田, 久我, 清水, 石橋 : 微細磁区構造の磁気光学観察, 映情学年次大, 2-10 (2009)
- (175) 船橋, 青島, 町田, 久我, 清水 : CPP-GMR 素子におけるスピ注入磁化反転の磁気光学測定, 日本磁気学会第 33 回学術講演概要集, 14 pF-10 (2009)
- (176) 船橋, 青島, 町田, 久我, 清水, 石橋 : スピ注入型光変調素子の MO 特性評価, 映情学冬大, 7-8 (2009)
- (177) 古川, 町田, 船橋, 青島, 久我, 原, 清水 : サブミクロン光変調素子に向けた垂直磁化トンネル接合の作製, 映情学冬大, 7-7 (2009)