

富山大学工学部電気電子システム工学科 電子デバイス工学講座

岡田 裕之*

1. はじめに

富山大学工学部電気電子システム工学科電子デバイス工学講座は、現在ディスプレイデバイスを中心として、有機材料を用いた電子デバイスに関する研究を進めている研究室である。現在の構成は、女川博義教授、岡田裕之助教授、中 茂樹助手、柴田 幹技官のスタッフのもと、現学生として博士後期課程(ドクター)生1名、博士前期課程(マスター)生14名、学部生12名の構成である。液晶研究を開始した経緯としては、1969年に女川先生がMBBAの合成を開始したのを発端として、その後、液晶配向を中心として研究を行ってきた。現在では、液晶物性と表示方式、液晶以外の領域では、有機EL素子、有機トランジスタなどの有機電子デバイスに研究展開を実施しているところである。

ここでは、研究室内で最近実施してきた液晶研究トピックスの詳細と、他の有機デバイスの研究キーワードについて紹介する。

2. 液晶デバイス関連

過去、ネマチック液晶のハイブリッド配向、強誘電・反強誘電性液晶表示と層構造などの研究を実施してきたが、最近ではネマチック液晶表示方式と液晶物性評価に関する研究へと展開を移行している。

第1に、電界誘起マイクロドメイン液晶表示方式の電気光学特性について検討してきた。構造は、一方の基板に放射状電極を、もう一方の基板に同心円状電極を用いた。1ピクセルの中に多くのマルチドメインが形成される構成として、放射状電極により、電界が中心から周辺に向かうに従い減少する形とし、緩やかなしきい電圧特性を有して視野角特性の良好な液晶表示とする構想で検討した。結果を図-1に示す。右が1画素(120 μ m)の明状態表示、左が電

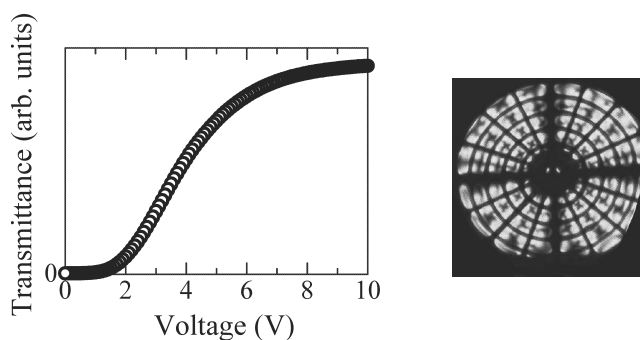


図-1 電界誘起マイクロドメイン表示方式

圧-透過率特性である。垂直配向セルのコントラスト比は210:1で、中間調反転のない対称な視野角特性を得ることができた^{1),2)}。

第2に、広視野角、高コントラストの表示方式を目指し、ミクロンサイズの無秩序に形成された電極ホールを有する液晶表示方式について実施してきた。無秩序化することにより、干渉のない開口部形成を可能とした。検討では、液晶の二次元ダイレクトプロファイル解析計算と実験の両面からセル厚の最適化を行い、実験ではしきい電圧1V、コントラスト比100:1以上の特性を得ている。図-2に、明状態での偏光顕微鏡写真と電圧-透過率特性を示す。液晶配向は球形電極ホールにより対称配向となり、顕微鏡観察ではポリマー分散液晶のようなドロップレット状となって見える。電極ホールが上下で重なった部分ではお互いが繋がった形となっている^{3),4)}。

第3に、極微細周期形状を有する新規液晶表示方式について検討してきた。研究開始当初は、周期形状突起物によ

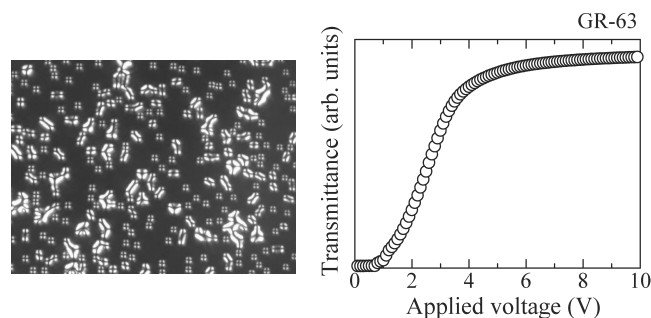


図-2 無秩序なドットを有する新規液晶配向方式

* Hiroyuki OKADA
富山大学工学部・助教授
富山県富山市五福3190(〒930-8555)
E-mail: okada@eng.toyama-u.ac.jp
2005.2.8 受理

り垂直配向が実現できないかという発想で検討した。しかしながら、残念なことに、その後の検討で突起物なしの場合でも垂直配向することがわかり、結局 MVA 方式の無限分割版の作製法という位置づけとなっている。作製では、フォトレジストに対し干渉露光を2回直交方向で行うことで、最小 $0.5\mu\text{m}$ 程度の周期を有するドット作製を行った。その上に SiO_2 を形成することで、液晶の配向力を向上させる。図-3 に得られた結果を示す。配向膜を用いず両面にパターンを有するセルを作製し、ヒステリシスのないコントラスト比 311:1 の良好な電圧-透過率特性を得た。動的スイッチングでは、過渡的にシュリーレン組織が発生したが、発生は規則的で応答は早く、応答時間として 8.9, 2.7 ms のオン、およびオフ時間を得た。

第4に、ナノインプリントリソグラフィ (NIL) を志向した検討として、電子ビーム (EB) 露光によるナノ超微細溝・傾斜・突起形状での液晶配向制御を検討した。実験では、ITO 基板上に EB レジスト ZEP-520 (日本ゼオン) を塗布し、EB 露光法により超微細溝・傾斜・突起形状を形成した。現像後、配向力向上用に SiO_2 を 20 nm スパッタ堆

積しセルを作製した。スペーサーは $6\mu\text{m}$ 、使用液晶は ZLI-1132 (メルク) である。図-4 に 50nm パターンと超微細溝による方位角アンカリングエネルギーの膜厚依存性を示す。実験値は、超微細溝になるほど Berreman の溝理論値からずれた。本原因は、今後も検討が必要だが、溝形状が乱れていることと、他理論も考慮する必要があるかもしれないと考えている。値としては、膜厚 100 nm, 100 nm L & S で $2.84 \times 10^{-4} \text{J/m}^2$ を得ている。傾斜形状は、ドーズ量を段階的に変化させることで鋸歯状形状を作製し、チルト配向を得ている。突起形状では、いまだ突起のみによる垂直配向は確認されていないが、先述と同様に、過渡的スイッチングが安定化された垂直配向表示が得られている⁷⁾。

第5に、フッ素系液晶材料でしきい電圧の温度依存性が小さい材料系が報告されている点を受け、その材料系の誘電率異方性、屈折率、弾性定数、秩序パラメータなど、種々の物性定数の温度依存性を評価してきた。その結果、①弾性定数と誘電率異方性の温度変化が同程度の材料で、しきい電圧の温度依存性が小さいこと、②誘電率異方性が

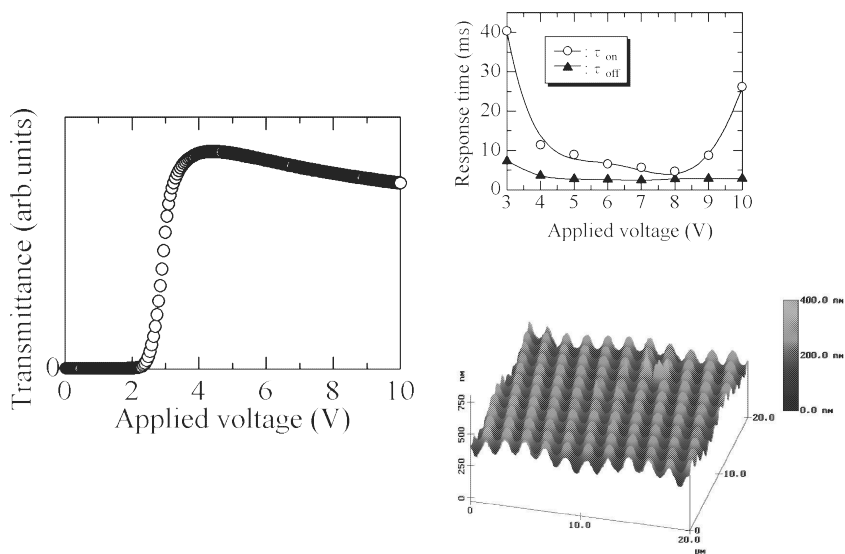


図-3 極微細周期ドットを有する液晶表示方式

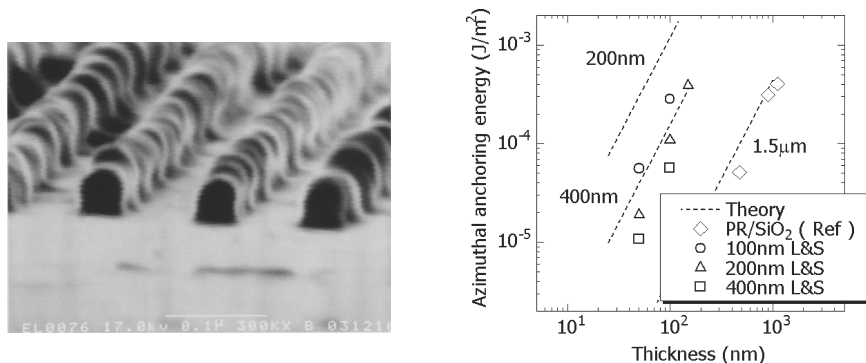


図-4 50 nm L & S パターンと配向エネルギー

大きな材料系で秩序パラメータ S と誘電率異方性 $\Delta\epsilon$ の関係が $\Delta\epsilon \propto S^2$ となること、③ $\Delta\epsilon/S$ 値について、MOPAC による計算と Maier-Meier 式を兼ね併せ考えることで、液晶材料の $\Delta\epsilon/S$ 値の温度依存性が示せ、ダイポールモーメントが大きな材料系で大きい電圧の温度依存性が小さかったことを示してきた^{9)~12)}。

3. 有機 EL 素子関連

有機 EL 関連では、これまでデバイス用陰極材料と電子注入機構、混合単層素子、白色素子と新プロセスなどの検討を実施してきた。現在は、有機 EL 素子の作製プロセスを中心に、各種の低分子溶液プロセス、各種複合機能パネルおよび光取出し効率改善法などの展開を実施している。

第1に、低分子系りん光材料を用いたインクジェットプリント法により、バンクおよび位置合わせが不要で、短絡のない素子作製が可能な自己整合隔壁形成した有機 EL 素子について検討している(図-5)¹³⁾。第2に、簡単な作製方法としてスプレイ法を提案・実現しており、現在低分子溶液系の適用と白色発光化について検討してきた。緑色発光で、輝度 17,000 cd/m² ($J = 100 \text{ mA/cm}^2$) と電力効率 20.4 lm/W、白色発光で輝度 5,250 cd/m² と電力効率 5.17 lm/W を得ている¹⁴⁾。第3に、低分子溶液系有機 EL による信頼性向上の検討を行い、検討開始当初、蒸着系素子で 1,000 cd/m² 時 12 分程度であった寿命を、低分子溶

液系で 60 時間程度まで改善した¹⁵⁾。第4に、画像反転なく両面に異なる発光表示が可能な“デュアルドライブ&エミッション(DDE)パネル”の提案と、トップエミッション素子の特性改善の検討を行っている(図-6)^{16),17)}。第5に、有機 EL 素子と有機フォトダイオード(PD)アレイを積層した複合機能デバイス“バイファンクションマトリクスアレイ(Bi-Matrix)”を検討中である¹⁸⁾。第6に、有機 EL 素子の取出し効率改善と干渉の解消を狙い、出射部にランダム突起構造を形成した有機 EL 素子を検討している(図-7)¹⁹⁾。

4. 有機トランジスタ・デバイス関連

第1に、ペンタセン有機材料を用いた有機電界効果トランジスタの研究を進めている。有機トランジスタの性能向上には、寄生部を除去した自己整合構造が望ましいといえる。そこで、液晶アクティブマトリクス駆動で研究されていた背面露光法によるトランジスタ作製法を有機トランジスタに適用・検討した。これにより、オーバーラップ長 0.8 μm 、相互コンダクタンス、ゲート容量より求めたしや断周波数 180 kHz を得ている²⁰⁾。また、現在簡単に短チャネル化が可能な構造として、有機縦形トランジスタの検討を開始しているところである(図-8)。第2に、有機 EL や有機トランジスタなどとの集積化を考え、光を上部より吸収するトップアブソープション(TA)型素子を検討

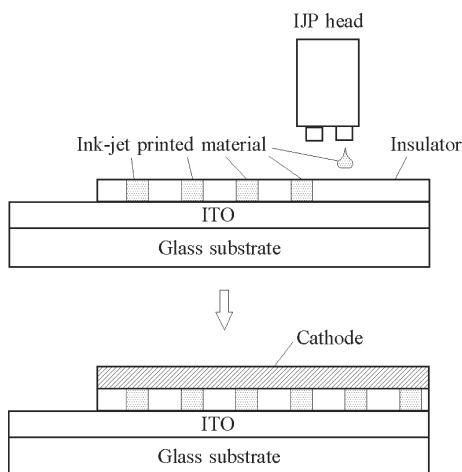


図-5 インクジェットプリント法による自己整合隔壁有機 EL 素子

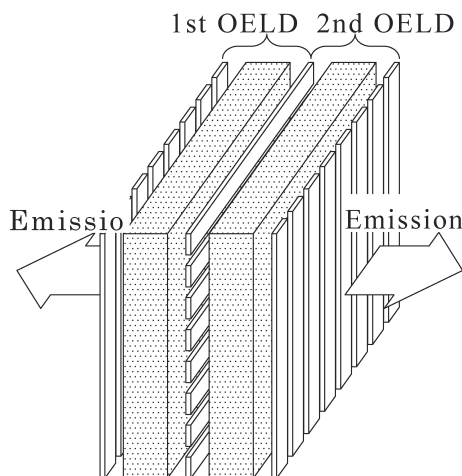


図-6 両面発光 DDE パネルの構成

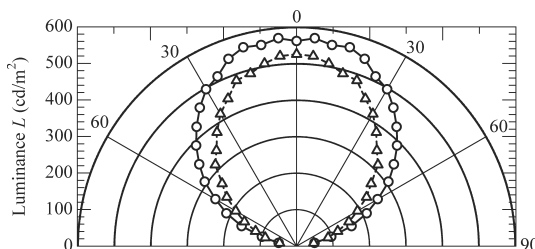
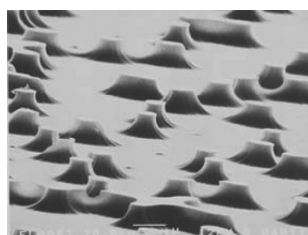


図-7 ランダムドットによる取出し効率改善例

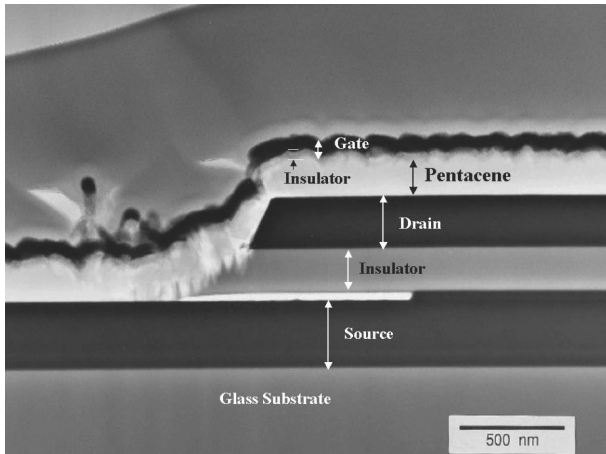


図-8 有機縦形トランジスタの断面 [(株)アイラス撮影]

している。素子構造の工夫で、光を下部基板より吸収するボトムアブソープション(BA)型素子と同等性能を実現している²¹⁾。

5. おわりに

以上、富山大学工学部電気電子システム工学科電子デバイス工学講座について紹介した。研究の詳細について興味をお持ちいただけた際は、お問合せいただければ幸いです。

参考文献

- 1) H. Ohno, H. Okada and H. Onnagawa : *J. Appl. Phys.*, **93**(12), 9630 (2003).
- 2) 岡田, 大野, 女川 : 特開 2003-91009(2003).
- 3) M. Inaba, H. Okada and H. Onnagawa : *J. Appl. Phys.*, **96**(12), 6981 (2004).
- 4) 岡田, 鯨場, 女川 : 特開 2004-29164(2004).
- 5) T. Shimamura, H. Okada and H. Onnagawa : *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43**(1), 256 (2004).
- 6) 岡田, 鳴村, 女川 : 特開 2004-309780(2004).
- 7) T. Kagajyo, K. Fujibayashi, T. Shimamura, H. Okada and H. Onnagawa : *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44**(1B), 578 (2005).
- 8) T. Nishi, A. Matsubara, H. Okada, H. Onnagawa, S. Sugimori and K. Miyashita : *Jpn. J. Appl. Phys.*, **34**(1), 236 (1995).
- 9) H. Ishikawa, A. Toda, H. Okada and H. Onnagawa : *Liquid Crystals*, **22**, 743 (1997).
- 10) K. Ikeda, H. Okada, H. Onnagawa and S. Sugimori : *J. Appl. Phys.*, **86**, 5413 (1999).
- 11) J. Xu, H. Okada, S. Sugimori and H. Onnagawa : *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40**(3A), 1375 (2001).
- 12) H. Ma, H. Okada, S. Sugimori, H. Onnagawa and K. Toriyama : *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43**(9A), 6234 (2004).
- 13) R. Sato, S. Naka, M. Shibata, H. Okada, H. Onnagawa, T. Miyabayashi and T. Inoue : *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43**(11A), 7725 (2004).
- 14) T. Echigo, S. Naka, H. Okada and H. Onnagawa : *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44**(1B), 626 (2005).
- 15) M. Ooe, S. Naka, H. Okada and H. Onnagawa : *Proc. Int'l Display Workshop '04*, OELp-30L (2004).
- 16) T. Miyashita, S. Naka, H. Okada and H. Onnagawa : *Asia Display '04*, 86 (2004).
- 17) T. Miyashita, S. Naka, H. Okada and H. Onnagawa : *Proc. Int'l Display Workshop '04*, OELp-31L (2004).
- 18) Y. Matsushita, H. Shimada, T. Miyashita, M. Shibata, S. Naka, H. Okada and H. Onnagawa : *Ext. Abstr. Solid State Device and Materials*, A-4-5 (2004).
- 19) A. Kitamura, S. Naka, H. Okada and H. Onnagawa : *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44**(1B), 613 (2005).
- 20) T. Hyodo, F. Morita, S. Naka, H. Okada and H. Onnagawa : *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43**(4B), 2323 (2004).
- 21) H. Shimada, S. Naka, H. Okada and H. Onnagawa : *Ext. Abstr. Solid State Device and Materials*, P13-5 (2004).