

氏名	みずさき まさのぶ		
授与学位	水崎真伸 博士(工学)		
学位授与年月日	平成21年9月9日		
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程) 電子工学専攻		
学位論文題目	液晶ディスプレイの残像現象に及ぼすイオン性不純物の影響に関する研究		
指導教員	東北大学教授 内田 龍男		
論文審査委員	主査	東北大学教授 内田 龍男	東北大学教授 金井 浩
		東北大学教授 庭野 道夫	東北大学准教授 宮下 哲哉

論文内容要旨

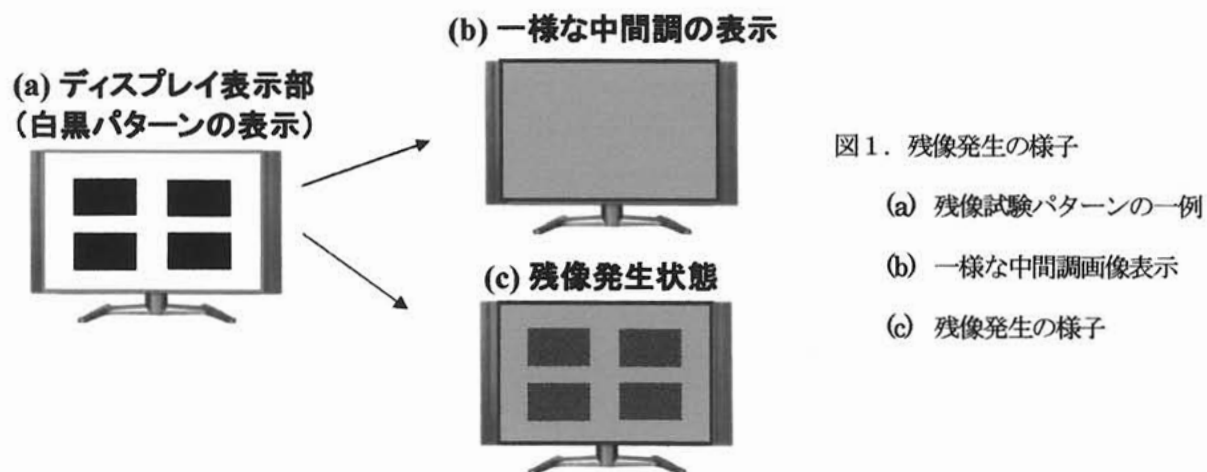
本研究では、液晶ディスプレイ (Liquid Crystal Display : LCD) における残像発生と、LCD の構成要素である液晶層中に含まれるイオン性の不純物の電界印加中における挙動との関係を明らかにして、今後残像の発生しない LCD を開発していくための評価方法を確立した。

近年の情報通信技術の進展に伴い、ディスプレイを通して映像情報を鑑賞する機会が増加してきた。例えばモバイル用途では携帯電話、デジタルカメラ、電子ブック、カーナビゲーションシステムが、また職場や家庭用途では、パーソナルコンピュータ用モニターや大画面テレビが、さらに新用途として街中や駅でのインフォメーションディスプレイが映像情報活用のために用いられるようになってきている。これらの映像情報技術の利用のため、軽量で薄型のディスプレイ (フラットパネルディスプレイ : FPD) が急激に普及しているとともに、その重要性はさらに高まると考えられている。これまでに開発・実用化されてきた FPD として、LCD、プラズマディスプレイ (PDP)、有機 LED (Organic Light Emitting Diode) などが挙げられる。この中で LCD は、PDP や有機 LED と比較して低電圧駆動、低消費電力、長寿命という特長がある。また透過・反射・投射などの表示方式を採用できるという特長もあり、今後さらに広範囲で主要 FPD 技術として応用展開されていくものと予想される。

LCD は実用化された当初、低い表示容量で、またコントラストが低く、上下左右方向から見たときに画像の色や明るさが大きく変化するという狭い視野角依存性であり、さらに応答速度が遅いという問題があった。しかし薄膜トランジスタ (Thin Film Transistor : TFT) を用いた駆動方式により大容量化し、また種々の液晶配向技術の提案により、コントラスト、視野角依存性、応答速度は実用上問題にならないレベルにまで改善した。また画面サイズ・解像度・色再現空間・輝度というディスプレイに要求される項目のほとんど全てにおいて、他の FPD と比べて優れた特性を示すようになってきている。

しかしながら近年、高輝度の LCD を長時間使用するようになってきており、その結果残像が発生するという問題が出てきている。残像とは、画像が切り替わった後も前の画像が数分以上、あるいは数十分以上視認される現象のことである。具体的には図 1 に示すように、白表示と黒表示を行った状態で長時間放置した後全面均一の中間調 (グレー) 画像を表示させると、前のパターンに対応して色の濃い部分と薄い部分が表示される現象のことである。今後テレビやインフォメーションディスプレイなどのさら

なる高輝度で大型の LCD 開発を進めていくにあたって、これまで以上の長期信頼性を確保していかなければならない。近年の LCD は高輝度、高コントラスト、広視野角となり、その結果わずかに発生する残像が認識され易くなっている。残像の発生は LCD のコントラスト低下を招き、表示品位の低下につながる。また、特定の液晶材料および配向膜材料、もしくは液晶材料と配向膜材料の組み合わせにおいても残像が発生し易くなることもある。したがって、LCD の開発を行っていく中で残像への対策を立てることは非常に重要な課題である。



LCD における残像発生の要因は、交流駆動における矩形波電圧印加の際に直流オフセット電圧が重畳すると、液晶パネル中の液晶層にイオンが存在する場合に発生する残留 DC 電圧であると考えられている。そこで本研究では、まずイオンが液晶パネル中に存在することを明らかにした。続いて残留 DC 電圧発生のメカニズムを解明し、残像の発生しない LCD 開発のための評価方法を確立させることとした。

本論文の第 2 章では、液晶パネル中にイオンが存在するかどうかの検証を、低周波の三角波電圧印加による電流測定より行った。この測定手法を用いた理由は、短時間で測定でき、尚且つ感度よく微量のイオンの存在を検出することができるためである。イオンが液晶層中に存在する理由について 3 つの可能性が考えられる。LCD の構成材料自体にイオンが存在する可能性、製造中にイオンが混入する可能性、そして使用中にイオンが発生する可能性である。これまで液晶セルを用いてイオンの存在を示した研究は多く報告されているが、実際の LCD における残像発生を想定し、イオンが使用とともに発生する要因について研究されている報告は無い。そこで本研究では、実使用条件の構成材料で作成した液晶セル中にイオンが存在するかどうかを明確にし、さらに LCD 使用とともにイオンが発生する可能性についても検討した。多くの LCD で採用されているフッ素系液晶は、200~350 nm の範囲の紫外光を吸収することが確認された。またバックライトから若干の紫外光が放射されていることから、紫外光照射によるイオン発生の可能性について検討した。検討結果より以下の事項を明らかにした。

- 低周波三角波電圧印加による電流-電圧特性より、液晶セル中の液晶層にイオンが存在することを明らかにした。
- 液晶材料が吸収を示す波長領域の光を照射することにより、イオンが発生することを明らかにした。

本論文の第3章では、残像発生の要因である残留 DC 電圧の発生メカニズム解明に取り組んだ。残留 DC 電圧はこれまで、電圧印加前に液晶層中にランダムに分布しているイオンが、外部から液晶セルに直流オフセット電圧が印加されることによって液晶層と配向膜の界面に移動することによって発生すると考えられていた。しかしイオンの分布状態は、直流オフセット電圧を 0V にするとすぐに元のランダム分布状態に戻ってしまい残像発生は確認されないはずであり、従来の説明では不十分である。本研究では残留 DC 電圧発生モデル構築と液晶セルを用いた測定より、残像発生に関わるこれまでに分かっていなかった残留 DC 電圧発生の要因を明らかにすることを試みた。また実際の LCD を想定し、非常に小さい残留 DC 電圧の正確な決定方法を提案し、検証を行った。残留 DC 電圧発生モデルとして、液晶層中に存在するイオンが直流オフセット電圧の印加によって液晶層-配向膜界面に吸着し、また界面に吸着しているイオンは熱拡散等の影響により離脱が起こると考えた。これにより、直流オフセット電圧印加中に一定密度のイオンが界面に吸着していると考え、これら 2 種類の速度定数を用いた残留 DC 電圧発生の動力学モデルを構築した。この動力学モデルが妥当であることを、液晶セルに直流オフセット電圧を印加することによる通電時間と残留 DC 電圧の関係より検証した。この結果の一例を図 2 に示す。また構築した動力学モデルより、残留 DC 電圧の発生は、液晶層中に存在するイオン密度、イオンの界面への吸着速度定数、界面に吸着しているイオンの離脱速度定数によって表されることを明らかにした。さらに残留 DC 電圧は、直流オフセット電圧印加時間が長くなると飽和値に到達することが明らかとなり、この残留 DC 電圧の飽和値（飽和残留 DC 電圧）と、液晶セルに印加した直流オフセット電圧の間には比例関係が成立することを見出した。この関係より、飽和残留 DC 電圧を正確に決定することによって、実際の LCD において非常に小さい直流オフセット電圧が印加されているときに発生する残留 DC 電圧を予測することが可能となる。したがって飽和残留 DC 電圧を決定することより、実際の LCD において発生する残像を予測することが可能となった。この飽和残留 DC 電圧と印加直流オフセット電圧との関係から、フッ素系液晶を用いた LCD では、LCD の一般的な寿命 (60,000~70,000 時間) 時間内で、バックライトからの紫外光照射により残像が確認されるレベルまでイオン密度が増加することは無いことも明らかにした。

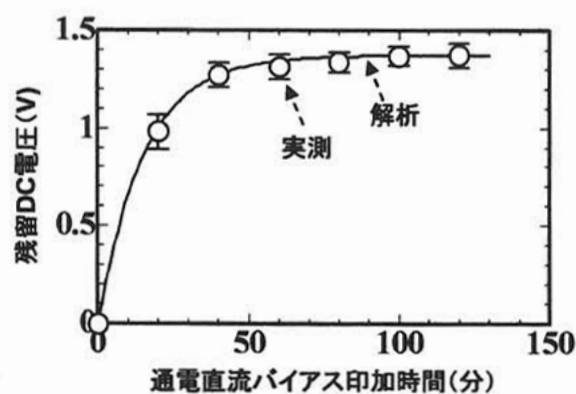


図 2. 残留 DC 電圧発生と直流オフセット電圧印加時間との関係 (測定温度: 25°C)

印加直流オフセット電圧: 5V、印加矩形波電圧: 3.4V (30 Hz)

次に残留 DC 電圧発生をもたらしている、界面に吸着しているイオンの吸着状態を明らかにすることを、吸着イオンの離脱の活性化エネルギーを決定することより試みた。その結果、フッ素系液晶およびシアノ系液晶の両方において、離脱の活性化エネルギーはそれぞれ 0.12 eV および 0.06 eV であったことから、イオンは界面にファンデルワールス力によって吸着していることを明らかにした。

これらの実験結果より、残留 DC 電圧の発生に関してこれまで明らかにされていなかった要因として、配向膜表面へのイオンの吸着のし易さが重要であることを明らかにした。また、LCD の残像発生要因である残留 DC 電圧の発生メカニズムについて、以下の事項を明らかにした。

- 残留 DC 電圧の発生と液晶層中のイオン挙動との関係を、イオン挙動の動力学モデルを用いて初めて説明することができた。
- 残留 DC 電圧を、液晶層中のイオン密度、液晶層中のイオンの液晶層-配向膜界面への吸着速度定数、および吸着イオンの離脱速度定数を用いて決定する手法を確立した。
- LCD の残像評価パラメータとして、飽和残留 DC 電圧を確立した。
- バックライトからの紫外光が液晶層に照射されることによってイオンが発生する速度は非常に遅く、LCD の寿命時間内で残像が発生することは無いことを明らかにした。
- 活性化エネルギーより、残留 DC 電圧はイオンが界面にファンデルワールス力のエネルギーで吸着することによって発生していることを初めて明らかにした。

本研究では、LCD における残像発生の要因である残留 DC 電圧の発生とイオン挙動との関係について明らかにした。その結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 液晶層に微量のイオンが存在することを低周波の三角波電圧印加による電流-電圧特性より明らかにした。
- (2) 残留 DC 電圧の発生と液晶層中に含まれるイオン挙動との関係を、イオンの動力学モデルを用いて初めて明らかにし物理現象を解明した。残留 DC 電圧を、液晶層中のイオン密度、イオンの液晶層と配向膜の界面への吸着速度定数、および吸着しているイオンの離脱速度定数によって決定する手法を確立させた。
- (3) LCD における残像評価のパラメータとして、飽和残留 DC 電圧が有効であることを検証した。
- (4) 残留 DC 電圧の温度依存性より、イオンの吸着および離脱それぞれの活性化エネルギーを決定した。その結果より、残留 DC 電圧発生に関わるイオンは、ファンデルワールス力で界面に吸着していることを明らかにした。

以上、本研究で初めて明らかにした残留 DC 電圧発生のメカニズムより、提案および検証した評価方法および評価パラメータは、残像低減を目標とした LCD 開発において非常に有効である。

論文審査結果の要旨

液晶ディスプレイで発生する残像現象は高品質なディスプレイ実現の上で重要な問題となっている。この問題は、液晶中に微量なイオン性不純物が存在すると共に、交流印加電圧に直流成分が存在する場合に発生することが経験的に知られており、直流電圧成分によって片側の電極表面に寄せられたイオン性不純物が吸着し、残留 DC 電圧が発生することによるものと考えられている。しかし、イオン性不純物の挙動と残留 DC 電圧発生メカニズムの詳細は明らかにされておらず、残像対策の見通しが立っていない。本論文では、液晶層中に存在するイオン性不純物の、電界印加による挙動の詳細を明らかにし、残像の対策法を確立することを目的としたものであり、全編 4 章よりなる。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的について述べている。

第 2 章では、残像発生に影響するイオン性不純物の存在を、三角波電圧法および直流電圧印加後の放電電流測定法によって解析している。その結果、液晶層中に含まれるイオン濃度がおよそ $10^{-15} \sim 10^{-14}$ モル濃度の範囲であること、その移動度は $10^{-6} \text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ オーダーであることなどを明らかにしている。またそのイオン性不純物としては、初期から液晶中に含有しているものの他に、強い紫外線照射によって新たに発生することも明らかにしている。これらの結果は、微量のイオンが残像発生に関わっていることを示す重要な知見である。なお、通常のバックライトから放射される程度の紫外線ではイオン性不純物の生成は極めて微少であり、上述の知見によれば実用上問題とはならないことも確認している。

第 3 章では、微量のイオン性不純物によって残留 DC 電圧が発生するメカニズムについて述べている。まず、直流オフセット電圧を含む矩形波電圧が印加された場合の残留 DC 電圧発生物理モデルとして、「液晶層中のイオン性不純物の平均的吸着量の時間依存性が電極表面の高分子配向膜表面に吸着および脱離する速度差によって表される」というモデルを構築している。次いで、作成した液晶セルに直流オフセット電圧を印加する時間と残留 DC 電圧の関係を測定し、その傾向が上述の物理モデルと一致することからモデルの妥当性を明らかにしている。また、測定結果の定量的解析によって、残像発生に影響する表面付近のイオン性不純物密度、界面への吸着速度定数、および界面からの脱離速度定数を決定している。さらに、これらの速度定数の温度依存性を測定し、吸着および脱離の活性化エネルギーを測定している。またそのエネルギーの値から、吸着はファンデルワールス力であることを予測している。これらの結果より、残留 DC 電圧発生メカニズムが解明されると共に、その原因となるイオン性不純物の評価方法が確立され、液晶材料や高分子配向膜の選択指針が明らかにされた。これらの成果は、液晶ディスプレイの残像現象メカニズムについて初めて科学的解析が行われたものとして学術的に評価されるばかりでなく、高品位液晶ディスプレイの実現の観点からも重要な知見として高く評価される。

第 4 章は結論である。

以上要するに本論文は、微量のイオン性不純物によって発生する残像現象メカニズムを解明すると共に、その対策の指針を確立させたものであり、電子工学および画像工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。