

論文内容の要旨

博士論文題目

システムオンパネルの実現に向けた化合物半導体による薄膜素子に関する研究

氏名 鍋坂 恭平

(論文内容の要旨)

本研究では、同一パネル上への機能回路を搭載したシステムオンパネルにおいて必要不可欠な要素デバイスである EL(エレクトロルミネッセンス)素子とメモリの課題解決のために新しい手法を提案し評価を行ったものである。

分散型無機 EL は、フレキシブルデバイスに適しているといわれているが実用化には発光輝度が不十分である。そこで、蛍光体に対して超短パルスレーザーを照射することで相転移を起こし発光特性への影響を調べた。一方、メモリ技術としては、 HfO_2 膜を抵抗変化層とし非晶質 InGaZnO 膜を抵抗変化現象を促す酸素リバーザー層とした $\text{HfO}_2/\text{InGaZnO}$ 積層型抵抗変化メモリを提案した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 2種類のパルス幅(ピコ秒・フェムト秒)のレーザーを照射することで ZnS 蛍光体に加わる熱的・機械的ストレスによる発光特性への影響を評価した。熱的過程のピコ秒レーザーに比べ、非熱的・機械的過程でのフェムト秒レーザーを照射することによって5倍以上の EL 輝度向上が確認された。XRD スペクトルでは六方晶と立方晶の多結晶状態へと変化しており、光機械的メカニズムのフェムト秒レーザー照射が相転移による輝度向上に適していることを示した。
- (2) 従来の粉砕処理後にレーザー照射を行った結果、EL 輝度が9倍近く向上していることから、粉砕処理とレーザー照射処理でストレス印加のメカニズムが違っていることを示している。PL スペクトルと EL 強度、SEM 画像の結果から、粉砕処理は表面から機械的ストレスを加えているのに対し、レーザー処理は内部に機械的ストレスを与えることによって大きく輝度が向上したと考えられる。フェムト秒レーザーの照射処理は従来の粉砕処理と両立することができ、無機 EL 材料の更なる高輝度化に有益であることを見出した。
- (3) 抵抗変化材料である HfO_2 は、メモリウインドウが8桁以上あり非常に良い特性を持っている。しかし、書き込み特性であるブレイクダウン電圧に大き

なばらつきが見られたが、アニール処理や素子サイズの小面積化によって改善することができた。

- (4) 小面積化した $\text{HfO}_2/\text{InGaZnO}$ 積層メモリでは、各単層メモリに比べてブレイクダウン電圧が低下しており、2段階の抵抗変化現象が確認された。これは、酸素リザーバー層としての InGaZnO 膜が抵抗変化層 HfO_2 膜と酸素イオンの受け渡しを促したことによってメモリ特性を向上させたことを示唆している。以上のように、本論文では提案した新規手法によって分散型無機 EL と抵抗変化メモリの課題解決や特性向上を達成しており、延いてはシステムオンパネル実現に向けて期待できる結果である。

(論文審査結果の要旨)

本研究では、同一パネル上への機能回路を搭載したシステムオンパネルにおいて必要不可欠な要素デバイスである EL(エレクトロルミネッセンス)素子とメモリの課題解決のために新しい手法を提案し評価を行った。

分散型無機 EL は、低コスト・高寿命でフレキシブルデバイスに適しているといわれているが実用化には発光輝度が不十分である。そこで、ボールミルなどで蛍光体粉末に機械的圧力をかけることによって相転移を起こし輝度が向上することが確認されている。しかし、急激な機械的圧力を加えることで蛍光体表面に欠陥が生成されるため、ストレス印加の新規手法として ZnS 蛍光体に対して超短パルスレーザーの照射を提案した。ZnS 粉末に加わる熱的・機械的ストレスによる発光特性への影響を調べるために 2 種類のパルス幅のレーザーを照射し評価を行った。熱的過程のピコ秒レーザーに比べ非熱的・機械的過程でのフェムト秒レーザー照射では 5 倍以上の輝度向上が確認された。XRD スペクトルで立方晶の多結晶状態へと変化しており、フェムト秒レーザーの照射が相転移による輝度向上に適していることが分かった。また、従来の粉碎処理と比較すると、粉碎処理後にレーザー照射を行った結果、EL 輝度が 9 倍近く向上していることから、各処理でストレス印加のメカニズムが違っていることを示している。PL スペクトルと EL 強度、SEM 画像の結果から、粉碎処理は表面から機械的ストレスを加えているのに対し、レーザー処理は内部に機械的ストレスを与えることによって大きく輝度が向上したと考えられる。フェムト秒レーザーの照射処理は従来の粉碎処理と両立することができ、無機 EL 材料の更なる高輝度化に有益であることを見出した。

抵抗変化メモリは大容量化と高速動作において優れたポテンシャルを有しており次世代の不揮発性メモリとして様々な用途への展開が期待できる。抵抗変化材料 HfO₂ は高いメモリ特性を持っているが動作メカニズムである酸素イオンが動きにくいため、本研究では HfO₂ 膜を抵抗変化層とし非晶質 InGaZnO 膜を抵抗変化現象を促す酸素リバーザー層とした HfO₂/InGaZnO 積層型抵抗変化メモリを提案した。メモリの書き込み特性に大きなばらつきが見られたがアニール処理や素子サイズの小面積化によって改善することができた。小面積化した HfO₂/InGaZnO 積層メモリでは、各単層メモリに比べてブレイクダウン電圧が低下しており、InGaZnO 膜が酸素リバーザー層として機能しメモリ特性を向上させることが示された。

以上のように、本論文では提案した新規手法によって分散型無機 EL と抵抗変化メモリの課題解決や特性向上を達成しており、延いてはシステムオンパネル実現に向けて学術的な貢献が期待できる。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。