

機関番号：23201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560307

研究課題名(和文) LSIと共存可能なシリコン・イオン注入型MOS発光素子の研究

研究課題名(英文) MOS Structure with Si-Implanted Oxide for Light Emitting Device Embedded in LSI

研究代表者

松田 敏弘(MATSUDA TOSHIHIRO)

富山県立大学 工学部・教授

研究者番号：70326073

研究成果の概要(和文):酸化膜にシリコン・イオンを注入したMOS(Metal Oxide Semiconductor)構造を用いて、大規模集積回路(LSI)内に共存できるシリコン系発光素子の研究を行った。電気的特性解析では、シリコン・イオン注入によって電流-電圧特性がヒステリシスを持つことを示した。発光特性解析では、シリコン・イオンの注入量と注入エネルギーによって発光の主要な波長成分が変化することを示し、発光機構モデルを提案した。

研究成果の概要(英文): As a silicon based light emitting device embedded in LSI (Large Scale Integration), an MOS (Metal Oxide Semiconductor) structure with silicon (Si) implanted gate oxide was studied. Si implantation caused hysteresis in current-voltage characteristics. Si implantation conditions such as energy and dose changed wavelength of light emission, and light emission model was proposed.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
20年度	1,600,000	480,000	2,080,000
21年度	700,000	210,000	910,000
22年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野:工学

科研費の分科・細目:電気電子工学・電子・電気材料工学

キーワード:シリコン MOS 発光

## 1. 研究開始当初の背景

大規模集積回路(LSI)は、微細化によって、システム全体を1チップに集積するSoC(System on a Chip)、1パッケージに集積するSiP(System in a Package)等が可能となっている。SoC、SiPでは、チップ内あるいはチップ間の信号伝達の高速化が重要な課題であり、電磁波や光を用いる研究が行われている。光による信号伝達のためには、LSIチップ内に共存できる発光素子が必要であり、表示機能の内蔵などの高機能化にも寄与できる。

しかし、LSIの基本材料であるシリコン(Si)は、間接遷移形半導体でバンドギャップも小さく発光素子には適さないとされてきた。このため、現在の発光素子としては、化合物半導体がいわれているが、シリコンとは異なる材料であるため、LSIとの共存はきわめて困難である。シリコン系材料で発光素子が可能になれば、LSIと共存可能な光デバイスや低コストの発光素子などへの幅広い応用が期待できる。

筆者らは、ゲート酸化膜にシリコン・イオン注入したMOS(Metal Oxide Semiconductor)

構造による発光素子に関する研究を進めている。この素子構造と製造工程は、LSI の基本素子の MOSFET と同じであり、イオン種もシリコンそのものである。このため、LSI チップ内に配置するには、非常に有利な構造である。

## 2. 研究の目的

シリコン系材料による LSI と共存可能な「青色」を含む可視発光素子を目指して、シリコン・イオン注入したゲート酸化膜を持つ MOS 構造による発光素子に関して、下記の研究を行う。

### (1) 発光機構の解明

物理的、電気的および発光特性の解析を行い、発光に重要な役割を果たすゲート酸化膜中の捕獲準位とシリコン・イオン注入等の作製条件との関係を明らかにする。

### (2) 作製条件と電気的および発光特性

作製条件(注入条件、酸化膜の形成方法、イオン種等)の異なる素子を作製し、電気的および発光特性との関係を明らかにする。

### (3) LSI との共存化のための基礎検討

CVD 膜をゲート酸化膜とした構造および下部電極を多結晶シリコンとした構造の素子を試作し、電気的特性等の基礎的検討を行う。

## 3. 研究の方法

### (1) シリコン・イオン注入型 MOS 構造の作製

- ・シリコン基板上への熱酸化膜の形成(30 nm)を行う。
- ・シリコン・イオン注入(注入エネルギー、ドーズ量)条件を検討する。
- ・アニール条件(900、1000 °C)を検討する。

### (2) 物理的、電気的および光学的特性の解析

- ・酸化膜中の過剰シリコンの濃度分布、酸化膜・シリコン界面の構造解析を行う。
- ・電流-電圧(I-V)、容量-電圧(C-V)特性を解析し、電流機構と電荷の捕獲準位との関係を明らかにする。

### (3) EL 分光特性の解析

- ・酸化膜厚、イオン注入条件が、発光特性に及ぼす影響と最適な作製条件を探る。
- ・交流など駆動条件が発光特性に及ぼす影響を明らかにする。

### (4) CVD 膜およびポリシリコン膜を用いた構造の検討

- ・積層化構造の基礎検討として、CVD 膜をゲート酸化膜とした素子構造と下部電極をポリシリコンとした試料を試作し、評価する。

- (5) 電荷の捕獲・放出、発光機構のモデル化・構造分析、電気的特性および発光特性解析結果を総合し、ゲート酸化膜中に生成される準位と電荷の捕獲・放出、発光機構のモデル化を行う。

## 4. 研究成果

### (1) テストデバイスの製作

n 形シリコン(Si)ウエハ上に酸化膜を製作し、シリコン・イオン注入によって過剰なシリコンを酸化膜中に導入した。テストデバイスの断面を図 1 に示す。n-Si 基板に膜厚 30 nm の熱酸化膜を形成し、シリコン・イオン注入を行った。注入エネルギーは 5、10 (一部の試料は 11) keV、ドーズ量は 0.5<sup>6</sup>、0.75、1.0、1.5×10<sup>16</sup> cm<sup>-2</sup>とした。シリコン・イオン注入後、900 または 1000°C で、30、60 分間の N<sub>2</sub> アニールを行った。その後、裏面に Al を、表面には Au 薄膜を用いて電極を形成し MOS 構造とした。

また、CVD 膜をゲート酸化膜とした素子、イオンドーピング技術によってしてイオン種 SiF<sub>4</sub><sup>+</sup>を導入した試料および下部電極をポリシリコンとした試料を試作した。

### (2) 電気的特性の解析

空乏・反転状態での電流密度-電圧特性を図 2 に示す。ドーズ量とともに、電流密度が増加した。シリコン・イオンや、その注入時に生じる酸化膜欠陥を介して、電子が酸化膜中を移動しやすくなるためと考えられる。

ゲート電圧(V<sub>G</sub>)の掃引方向が負から正方向の場合と逆の場合では、電流はヒステリシス特性を持ち、電圧掃引 4 サイクル後で収束し、5 サイクル以降の測定値で安定した解析が可能であることを示した。注入エネルギー 11 keV、ドーズ量 1.5×10<sup>16</sup> cm<sup>-2</sup>の試料(#6)の 5 サイクル目の例を図 3 に示す。V<sub>G</sub>の最大値を変えたときの両方の電圧掃引方向に対する電流密度の差(HW)と V<sub>G</sub>の関係を図 4 に示す。ヒステリシスの大きさは、V<sub>G</sub>およびドーズ量に依存して大きくなった。これは、シリコン・イオン注入により生じた準位への電子の捕獲・放出が増加するためと考えられる。

図 5 に、(a)HW を掃引時間で積分した総電荷量(ICHW)と V<sub>G</sub>の関係および(b)正方向の電圧掃引時の ICHW (+ICHW)の全 ICHW に対する割合と V<sub>G</sub>の関係を示す。シリコン・イオン注入量の多い試料では、ICHW は低い V<sub>G</sub> から上昇し、準位に捕獲される電荷の増加に対応している。また、+ICHW/ICHW の比は、シリコン・イオン注入した試料では高電圧で上昇し、酸化膜中への電荷の蓄積は、電圧の極性に対して非対称であることを示している。ヒステリシス特性を持つことは不揮発性メモリとしての可能性も期待できる。

(3) EL 発光特性の解析

図 6 に、ドーズ量  $1.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  で注入エネルギーが (a) 5 および (b) 10 keV の試料の EL 分光特性を示す。注入エネルギー 5 keV の試料では、2.7 eV に明確なピークが確認されたのに対し、注入エネルギー 10 keV の試料は、高いエネルギーの成分の発光強度が減少し、2.0 eV 以下のエネルギーの成分が上昇した。ゲート酸化膜厚を小さくすることで、発光に必要な  $V_G$  を低減することができた。

発光の波長ピークを解析するため、分光特性を次式を用いて 5 つのガウス分布に分離した(図 7)。

$$G_i = M_i \exp[-(h\nu - h\nu_i)^2 / 2(\sigma_i)^2]$$

ガウス分布の発光中心エネルギーは、それぞれ 1.3、1.7、1.9、2.3、2.7 eV であった。図 8 に、シリコン・イオン注入型 MOS 発光素子の発光機構のモデルを示す。シリコン・イオン注入によって形成された酸化膜中の準位に電子が捕獲され発光すると考えられる。1.6~2.8 eV は、Si イオン注入で生じた捕獲準位によると考えられ、1.2 eV はシリコンナノ結晶に起因する発光の可能性がある。

CVD 法によってゲート酸化膜を形成した試料は、熱酸化による試料とほぼ同等の電気的特性を示したが、発光は微弱であった。また、下部電極をポリシリコンとした試料では、耐圧が低く、MOS 構造としての十分な評価ができなかった。原因を解析し改善する必要がある。

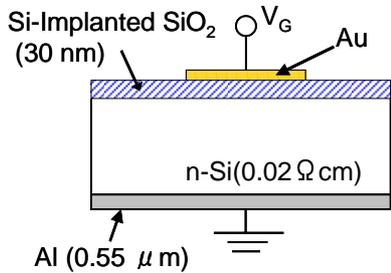


図 1 シリコン・イオン注入型 MOS 発光素子の断面

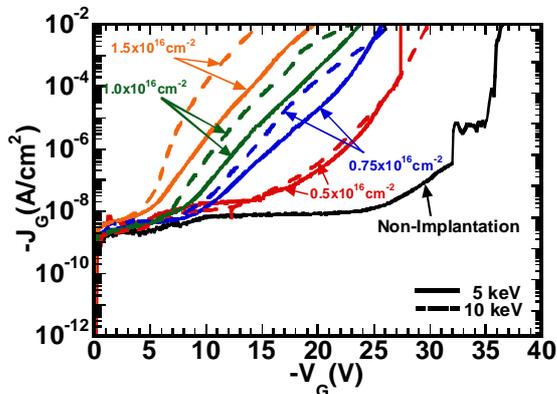


図 2 空乏・反転状態での電流密度-電圧特性

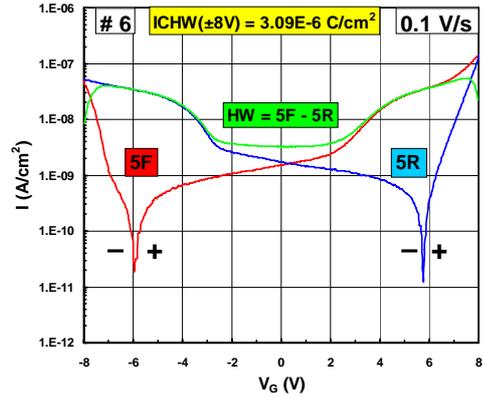


図 3 電圧掃引方向による電流密度-電圧特性の変化 (注入エネルギー 11 keV、ドーズ量  $1.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  の試料 (#6) の 5 サイクル目)

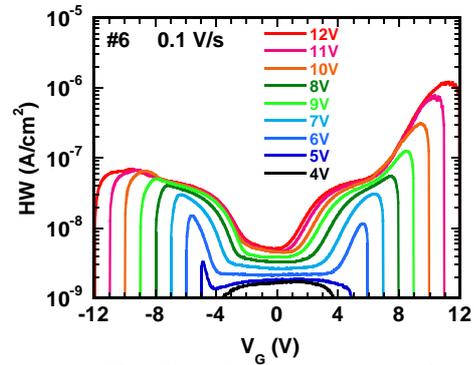
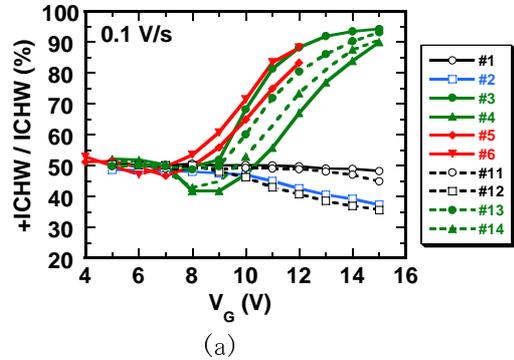
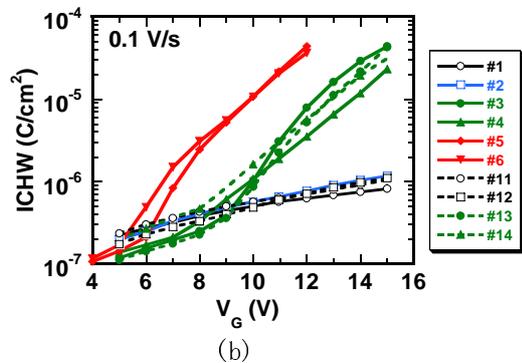


図 4  $V_G$  の最大値を変えたときの電圧掃引方向に対する電流密度の差 (HW) と  $V_G$  の関係



(a)



(b)

図 5 (a) HW を掃引時間で積分した総電荷量 (ICHW) と  $V_G$  の関係、(b) 正方向の電圧掃引時の +ICHW の全 ICHW に対する割合と  $V_G$  の関係

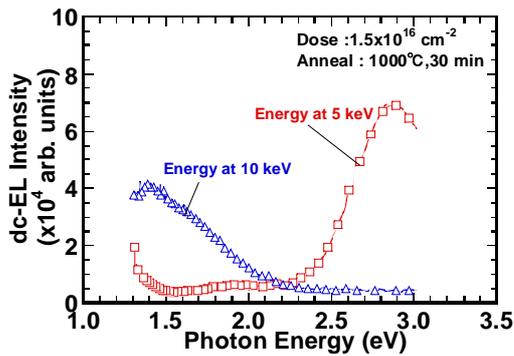
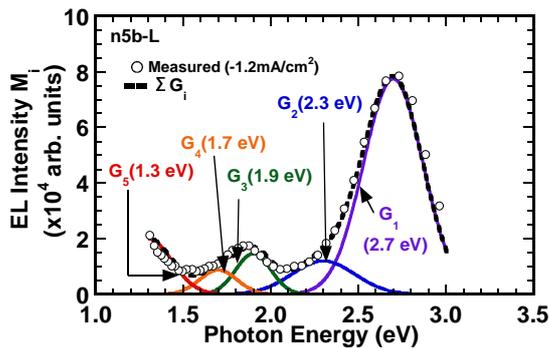
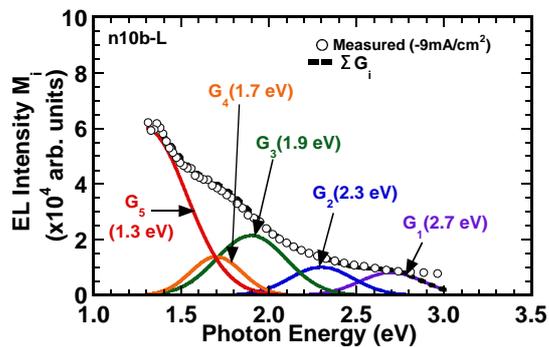


図6 EL分光特性(ドーズ量  $1.5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 、注入エネルギー5 および 10 keV)



(a)



(b)

図7 注入エネルギー(a)5 および(b)10 keVの試料の EL 分光特性のガウス分布による解析

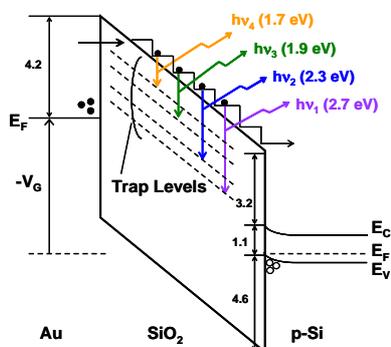


図8 シリコン・イオン注入型MOSの発光機構

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

T. Matsuda, S. Ishimaru, S. Nohara, H. Iwata, K. Komoku, T. Morishita and T. Ohzone, Current-Voltage Hysteresis Characteristics in MOS Capacitors with Si-Implanted Oxide, 査読有, IEICE Transactions on Electronics, vol. E92-C, no. 12, 2009, 1523-1530.

[学会発表] (計4件)

野原慎吾, 松田敏弘, 岩田栄之, Si イオン注入型発光素子の電気的および発光特性, 電気関係学会北陸支部連合大会, 2010年9月11日, 福井工業高等専門学校.

T. Matsuda, S. Nohara, S. Hase, H. Iwata and T. Ohzone, Spectrum Analysis of Electroluminescence from MOS Capacitors with Si-Implanted  $\text{SiO}_2$ , International Semiconductor Device Research Symposium (ISDRS), 2009年12月9日, University of Maryland.

野原慎吾, 松田敏弘, 岩田栄之, Si イオンを注入した MOS 型発光素子の電気的および発光特性, 電気関係学会北陸支部連合大会, 2009年9月12日, 北陸先端科学技術大学院大学.

石丸真佑, 松田敏弘, 岩田栄之, Si イオンを注入した MOS 型発光素子の電気的および発光特性, 電気関係学会北陸支部連合大会, 2008年9月13日, 富山大学.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松田 敏弘 (MATSUDA TOSHIHIRO)  
富山県立大学・工学部・教授  
研究者番号: 70326073

### (2) 研究分担者

岩田 栄之 (IWATA HIDEYUKI)  
富山県立大学・工学部・准教授  
研究者番号: 80223402

### (3) 連携研究者

岩坪 聡 (IWATSUBO SATOSHI)  
富山県工業技術センター・中央研究所・  
副主幹研究員  
研究者番号: 30416127