

Keyword 広光波長帯域、高感度、高信頼性撮像素子

タイプ 要素技術タイプ

開発課題名 広光波長帯域・高感度・高信頼性撮像素子の開発

■ 参画機関: (株)島津製作所、ラピスセミコンダクタ宮城(株)

■ 開発期間: 平成23~25年度

課題概要

原子レベルで表面が平坦化されたシリコンを用い、広光波長帯域・高感度・高信頼性光センサおよび撮像素子の開発を行う。具体的には、波長200~1100nmの広光波長帯域で、非冷却で1光子レベルを検出可能な高い感度と、紫外光照射に対する感度劣化と暗電流増加が抑制された高い信頼性を有する光センサおよび撮像素子の開発を目指す。これは、各種分光分析機器の検出部の高精度化・長寿命化、また紫外光を用いた高速撮像への応用が可能となる

得られた開発成果の概要

■ 開発の背景/経緯

紫外から可視光域に感度を持つ撮像素子は、物質の光吸収や原子発光スペクトルを測定する各種分光分析装置や、ラジカルからの発光を観測する燃焼・プラズマ診断装置、火災検知装置などに利用されている。また、波長の短い紫外光が回折しにくい性質や微小物体に強く散乱される性質を持つことから、欠陥検査装置などへも利用されている。これらの装置が活躍する分野は、生化学、医療、環境、素材、エネルギー、輸送機、セキュリティ、半導体・LCD、宇宙探査など多岐に渡る。

上記の装置群で利用される撮像素子には、広い波長範囲で高い感度を有し、かつ長期にわたって特性が安定していることが求められる。これらの装置では、撮像素子の特定の画素領域に常時紫外光が照射される場合や、偶発的に強い紫外光に曝されることを避けられない場合が多い。一般に紫外光は光子のエネルギーが高いため、撮像素子を構成するSi-SiO₂膜界面を変質させ、撮像素子の感度や暗電流などの特性を変化させてしまう、いわゆる「焼付き現象」を引き起こす性質を持っている。紫外光照射によるこのような特性劣化を抑え、撮像素子の信頼性を向上することで、装置の分析、診断、検査の精度を長期間保つことができる。

■ 開発の成果

紫外光照射による撮像素子の特性劣化を抑えるためには、撮像素子の光電変換部(フォトダイオード)をSiの内部に埋め込み、劣化の原因箇所であるSi-SiO₂膜界面から分離すればよい。しかし埋め込みが深すぎると、入射した紫外光の大部分がフォトダイオードに到達する前にSiに吸収されてしまい、紫外光に対する感度がそもそも低くなってしまふ。

本開発技術の撮像素子は、原子レベルに平坦化したSi表面に、薄く均一な高濃度不純物層を形成し、フォトダイオードを最適な深さに埋め込むことにより、高い紫外光感度を実現しつつ、紫外光照射に対する特性劣化を抑えるものである。さらに、フォトダイオード上に高透過率積層膜を積層して光の反射と吸収を抑制し、感度を向上させる。これらにより、200~1100nmの広光波長帯域における高感度化と信頼性の向上を達成する。開発したフォトダイオード構造と紫外光照射耐性評価結果を、図1に示す。本構造では、原子レベルで平坦化したSi表面に、制御された濃度プロファイルを有する高濃度不純物層を作りこんでいる。また、フォトダイオード上には開発した紫外光帯域まで消費係数の小さいSiN膜とSiO₂膜からなる高透過率積層膜を搭載している。図2には、開発したフォトダイオードの

率と暗電流の紫外光照射耐性の測定結果例を示す。ここでは、光波長260nmで感度が最大となるように積層膜の構成を調整した。量子効率が光波長260nmの紫外光帯域で80%と高く、また、強い紫外光を長時間照射したとしても量子効率と暗電流に劣化が起きない高い信頼性が得られている。さらに、開発したフォトダイオード技術を各種撮像素子に導入するためのプロセス技術を開発した。図3には、

広光波長帯域・高感度・高信頼性フォトダイオードを画素内に搭載した二次元撮像素子による撮像結果を示す。ここでは、白紙に紫外光吸収剤で描いた絵を含む各種撮像対象に、可視光源ないしは紫外光源を照射し撮像を行っている。可視光では確認できない白紙の絵が紫外光を用いて撮像した際には明瞭に確認でき、撮像素子レベルで紫外光帯域高感度化の効果が示されている。

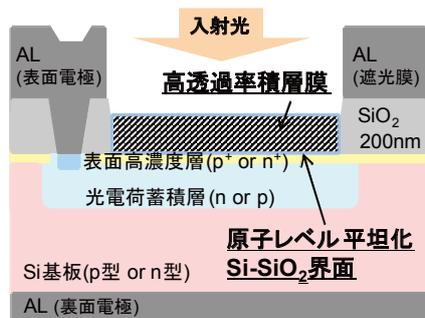


図1 開発したフォトダイオードの断面構造

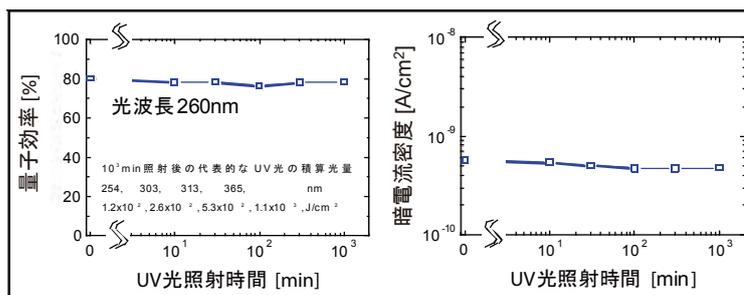


図2 開発したフォトダイオードの量子効率と暗電流の紫外光照射耐性

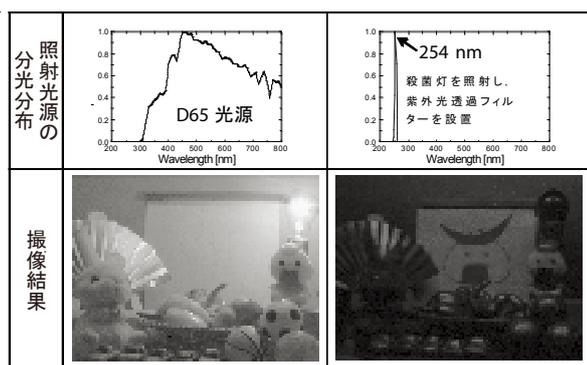


図3 開発したフォトダイオードを画素内に有する二次元撮像素子を用いた撮像例

科学計測を革新する広光波長帯域・高感度・高信頼性撮像素子技術

本開発の撮像素子技術は、生化学、医療、環境、素材、エネルギー、輸送機、セキュリティ、半導体・LCD、宇宙探査等の多岐に渡る分野で用いられる各種分光分析装置、撮像装置、火災検知器、欠陥検査装置の紫外光感度を大幅に向上させることが期待される。

また、強い紫外光が照射された際に起こる撮像素子の感度と暗電流の劣化を抑制させることができる。これにより、装置の広光波長帯域の感度を向上しつつ、分析、診断、検査の精度を長期間保つことができる。おいても観測されました。

上記成果の科学技術的根拠

【発表論文等】

1. Taiki Nakazawa, Rihito Kuroda, Yasumasa Koda, Shigetoshi Sugawa, "Photodiode dopant structure with atomically flat Si surface for high-sensitivity and stability to UV light," SPIE-IS&T, Vol.8298 Sensors, Cameras, and Systems for Industrial and Scientific Applications XIII, pp.82980M-1-8, 2012.
2. 黒田理人、中澤泰希、幸田安真、半澤克彦、須川成利、"原子レベル平坦化Si表面を用いた紫外光高感度・高信頼性フォトダイオード," 招待講演 社団法人映像情報メディア学会技術報告 ITE Technical Report Vol.35, No.47, IST2011-74(Nov.2011), pp.25-31, 2011.
3. Yasumasa Koda, Rihito Kuroda, Taiki Nakazawa, Yukihiisa Nakao, Shigetoshi Sugawa, "An UV Si-photodiode with almost 100% interal Q.E. and high transmittance on-chip multilayer dielectric stack," SPIE-IS&T, Vol.8659 Sensors, Cameras, and Systems for Industrial and Scientific Applications XIV, No.8659-20, 2012.