

高感度 CMOS イメージセンサ向け Si ウェーハの製品設計開発 ～光電子分光法の Si ウェーハ製品開発への応用～

栗田一成

株式会社 SUMCO 技術本部 評価・基盤技術部

高感度 CMOS イメージセンサのスマートフォンやタブレットなどへの複数個の搭載が顕著であり、3次元積層化技術の進展により更なる高感度、高速データ処理が実現されてきている[1]。しかしながら、CMOS イメージセンサの製品性能に影響を与えるいくつかの改善すべき因子がある。例えば、デバイス製造工程中の高温急速加熱処理あるいはプラズマ熱処理工程においてピクセルの活性領域（フォトダイオードと転送トランジスタ領域）に重金属が不純物拡散し、深い不純物準位（欠陥）を形成しデバイス特性を劣化させるなどの改善すべき技術課題がある[2, 3]。

また、CMOS イメージセンサの製造に利用する Si ウェーハは、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度の酸素が固溶しているためデバイス製造の熱処理工程によりデバイスの活性領域に外方拡散し欠陥を形成するため画素特性の指標である残像特性に影響を与えるなどの技術課題もある[4, 5]。

このため、ピクセルの活性領域から重金属などの不純物を取り除く技術である“ゲッターリング技術”がデバイス特性改善のための重要な技術として認識されている[6]。従来、CMOS イメージセンサのゲッターリング技術は、Si ウェーハ内部において酸素析出物などをデバイス製造の熱処理工程を利用して形成・成長させるイントリンシックゲッターリング技術が利用されてきたが、近年、デバイス製造の熱処理工程におけるサーマルバジェットが低温・短時間化の傾向にあるため酸素析出物の成長が抑制され十分なゲッターリング能力を確保できないなどの技術課題が生じている。

我々は、2011年から上述の技術課題を克服するためにクラスターイオン注入技術[7, 8, 9]に着眼し、デバイス活性層の直下にゲッターリング源を形成することを特徴とした近接ゲッターリングウェーハの製品開発を開始した。2014年からセンサメーカーに量産供給を実現し現在に至っている[10, 11]。これまでの研究開発から、この新規ウェーハは、3つのユニークな製品性能を有することを見出すことができた。第一に重金属汚染に対する高いゲッターリング能力[10, 11, 12]。第二に Si 基板からピクセルの活性層へ外方拡散する酸素の拡散抑制効果[10, 11, 12]。第三に注入レンジにてゲッターリングされている水素の外方拡散によるプロセス誘起欠陥に対するパッシベーション効果[12-15]。

これらの特徴を有するウェーハを用いて CMOS センサの製造工程にて CMOS イメージセンサを製造し白傷欠陥、暗電流などのデバイス特性を評価し欠陥の低減効果が高いことを“量産製造工程”にて実証することができた。

本講演では、新規ウェーハの製品特徴、量産製造工程でのプロセス誘起欠陥に対する効果と昨年から“製品開発の基礎検討”の位置付けにて佐賀大学シンクロトロン光研究センターの BL13C にて実施している光電子分光法で得られた結果についても報告する。

参考文献

- [1] T.Kuroda: "Essential Principles of Image Sensors" (CRC Press, Tokyo, 2014).
- [2] K. Graff: "Metal Impurities in Silicon-Device Fabrication, 2nd edition" (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2000).
- [3] 井上俊輔: 応用物理 **73**, 1207 (2004).
- [4] 金田 翼, 大谷 章: 平成 28 年秋季第 77 回応用物理学会学術講演会 (2016) 14p-P6-10.
- [5] 大谷 章, 金田 翼: 平成 28 年秋季第 77 回応用物理学会学術講演会 (2016) 14p-P6-11.
- [6] 早藤貴範: 応用物理 **60**, 782 (1991).
- [7] 山田 公 (編著): “クラスターイオンビーム基礎と応用” (日刊工業新聞社, 2006).
- [8] 松尾二郎, 瀬木利夫, 青木学聡: 表面科学 **31**, 564 (2010).
- [9] 栗田一成: 応用物理 **84**, 628 (2015).
- [10] 栗田一成, 門野 武, 奥山亮輔, 廣瀬 諒, 梶田亜由美, 奥田秀彦, 古賀 祥泰: 表面科学 **37**, 104 (2016).
- [11] K.Kurita *et al.*, Jpn.J.Appl.Phys.**55**,121301(2016). <http://doi.org/10.7567/JJAP.55.121301>.
- [12] K.Kurita *et al.*, Physica Status Solidi A,**1700216**(2017). <http://dx.doi.org/10.1002/pssa.201700216>.
- [13] R.Okuyama *et al.*, Jpn.J.Appl.Phys.**56**,025601(2017). <http://doi.org/10.7567/JJAP.56.025601>.
- [14] R.Okuyama *et al.*, Physica Status Solidi C,**1700036**(2017). <http://dx.doi.org/10.1002/pssc.201700036>.
- [15] K.Kurita *et al.*, Sensors 2019, 19(9), 2073. <https://doi.org/10.3390/s19092073>.

高感度CMOSイメージセンサ向けSiウェーハの製品設計開発 ～光電子分光法のSiウェーハ製品開発への応用～

2020年10月21日

栗田一成
評価・基盤技術部
製品基盤技術課

発表内容

1. CMOSイメージセンサの概要
2. CMOSイメージセンサの技術トレンド
3. CMOSイメージセンサの技術課題
4. CMOSイメージセンサの技術課題の対策
5. SUMCO独自・技術開発による技術課題の対応
 - 分子イオン注入ゲッターリング技術・製品概要
 - 分子イオン注入エピ製品の製品特性
6. まとめ
7. SUMCO独自・技術開発の成果
8. 結論

1. CMOSイメージセンサ概要

CMOSイメージセンサ(CIS)の用途の多様化

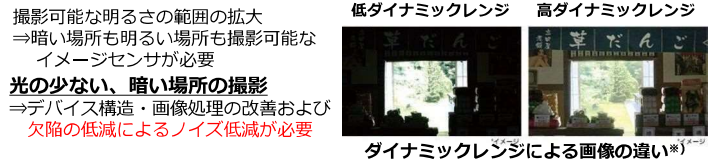


車載・セキュリティ向けにはより高性能なイメージセンサが必要

2. CMOSイメージセンサの技術トレンド

CMOSイメージセンサ(CIS)の技術トレンド

◆高ダイナミックレンジ (DR)化



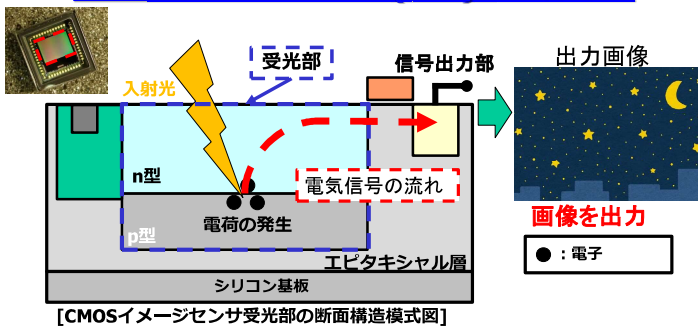
◆積層化



イメージセンサのノイズ低減に寄与するシリコンウェーハ開発が必要

3. CMOSイメージセンサの技術課題

CMOSイメージセンサ(CIS)の動作原理

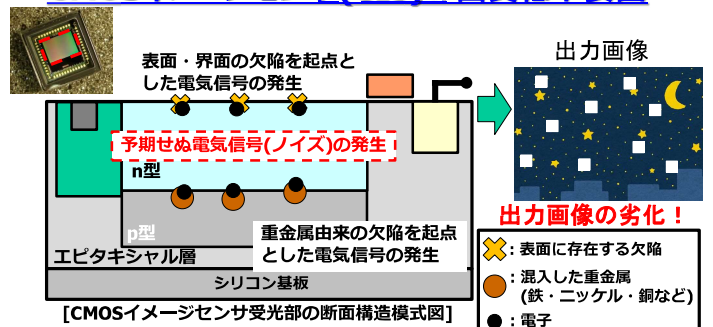


CISは受光部で光電変換を行い、光を検出する

高感度化のためには、入射光をより正確に電気信号へ変換することが重要

3. CMOSイメージセンサの技術課題

CMOSイメージセンサ(CIS)の画質低下要因

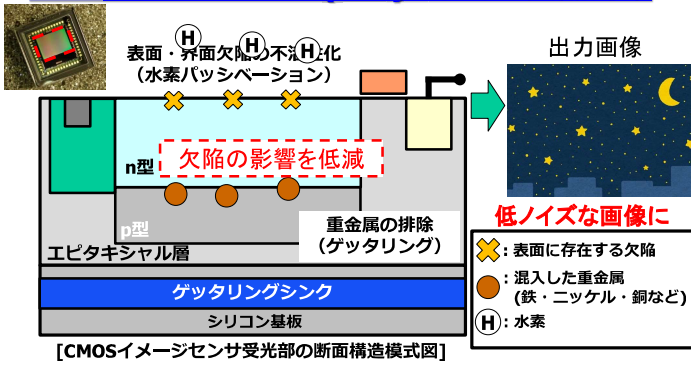


受光部に形成された欠陥が予期せぬ電気信号(ノイズ)発生起点となる

高感度化のためには、入射光以外での電気信号発生要因の低減が必要

4. CMOSイメージセンサの技術課題への対策

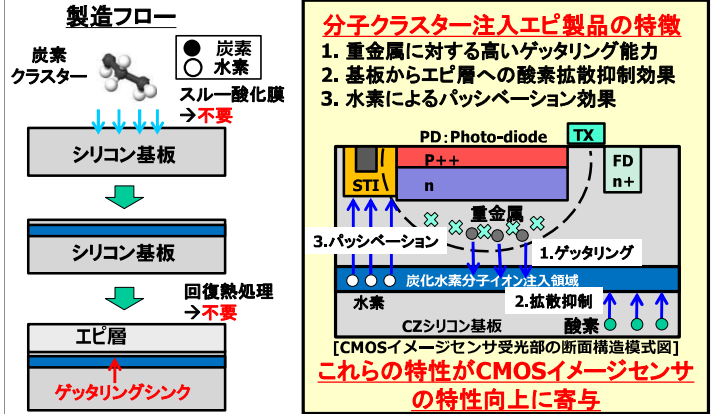
CMOSイメージセンサ(CIS)における欠陥対策



高感度化には、ゲッタリングとパッシベーション効果が重要

5. SUMCO独自技術開発による技術課題への対応

分子イオン注入エピ製品コンセプト

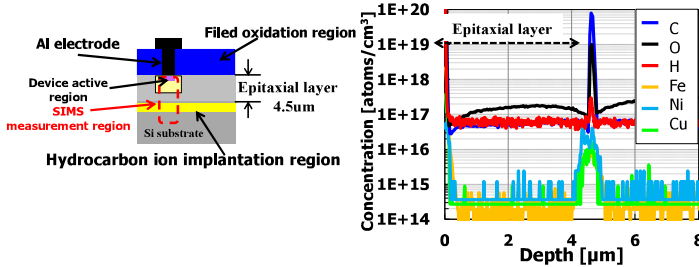


5. SUMCO独自技術開発による技術課題への対応

① 重金属汚染に対する高いゲッタリング能力

Cross Sectional Image

SIMS depth profile



1) Kazunari Kurita, et al : The 63th JSAP Spring Meeting 2016 20p-H113-1

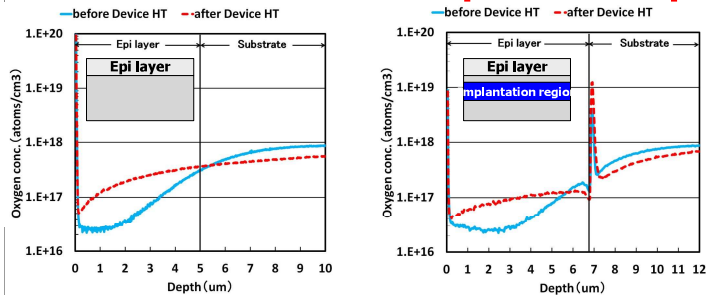
デバイス工程においても重金属汚染に対して高いゲッタリング能力を保持している

5. SUMCO独自技術開発による技術課題への対応

② 固溶酸素の拡散に対する高いゲッタリング能力

SIMS depth profile of oxygen impurity after heat treatment

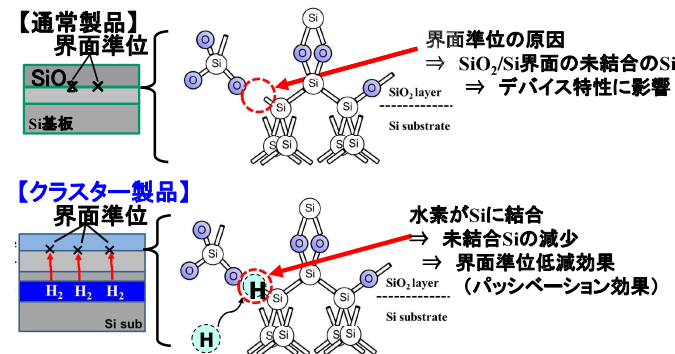
[分子イオン注入エピ製品]



CZ結晶からの固溶酸素の外方拡散に対して分子イオン注入レンジは高いゲッタリング能力を保持できる

5. SUMCO独自技術開発による技術課題への対応

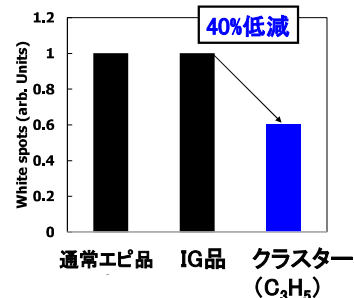
③ 分子イオン注入製品による界面準位低減効果



実デバイスによる評価と実証実験による効果の検証を実施

5. SUMCO独自技術開発による技術課題への対応

実デバイスによる評価事例 (界面準位に起因した白キズ欠陥の低減)



◆ クラスター注入製品の重要な製品特徴の一つである 界面準位低減 (パッシベーション) 効果を明らかとした。

引用) Yamaguchi, T. White Spots Reduction of CMOS Image Sensors by Proximity Metal Gettering Technology. In Proceedings of the 145th Committee on Processing and Characterization of Crystals of The Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo, Japan, 21 July 2017; pp. 20-24. (In Japanese)

6. まとめ

■分子イオン注入技術を近接ゲッタリングウェーハ製品開発に応用し白キズ欠陥の低減に貢献することのできる3つのユニークな製品特徴を見出すことができた。

◆分子イオン注入エピ製品の3つの特徴

1. 重金属に対する高いゲッタリング能力
2. 固溶酸素の外方拡散に対するゲッタリング効果
3. 水素によるSi/SiO₂界面準位の不活性化効果

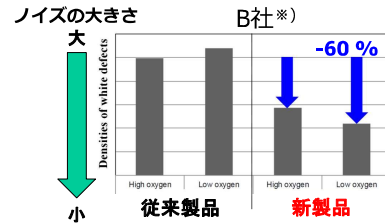
注入レンジにおいてC-I複合欠陥がゲッタリングシンクを形成

CMOSイメージセンサの製品性能向上を実現！

7. SUMCO独自・技術開発の成果

分子イオン注入エピ製品のデバイスへの効果

CMOSイメージセンサ(CIS)の白キズ特性評価結果



※) T.Soyama: The 8th Forum on the Science and Technology of Silicon Materials 2018, S6-5 (2018)

デバイス構造を変更することなく
より低ノイズなCMOSイメージセンサを実現！

8. 結論

- イメージセンサは光を電気信号へ変換し、画像にする、社会システムの目となる重要なデバイス。
- イメージセンサの市場は今後も拡大すると予想され、シリコンウェーハ業界にとっても重要なデバイス。
- SUMCOはイメージセンサの製造に最適な独自の分子イオン注入ゲッタリング技術の開発を推進しお客様の技術課題解決に貢献します。

