

氏名・(本籍)	やま 山	ざき 崎	ひろ 宏	ゆき 之	(岡山県)
学位の種類	工	学	博	士	
学位記番号	工博甲第	25	号		
学位授与の日付	昭和60年	3	月	27	日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 電子科学研究科 電子応用工学専攻				
学位論文題目	画像メモリを内蔵する固体撮像素子に関する研究				
論文審査委員	(委員長) 教授	宇野	正美		
	教授	萩野	實	教授	山本 達夫
	教授	藤安	洋	教授	安藤 隆男
	助教授	畑中	義式		

論文内容の要旨

現在、CCDやMOS形固体撮像素子が種々の画像処理システムの画像入力素子として使用されているが、画像情報を電気信号に変換する役割を果たしているにすぎない。一方、画像処理システムや知能ロボットの小型化ならびに処理の高速化の立場から、これらシステムの画像入力素子は、単に画を撮るだけでなく全画面上にわたる一様処理や簡単な認識までを撮像面上でおこなうハードウェアとしての機能が要求されるようになった。

本論文はこのような技術的な背景を踏まえて、不揮発性画像メモリを内蔵し、かつ撮像面上での信号処理を可能にする固体撮像素子の構成および動作特性、さらに光信号乗算器への応用に関連した事項について研究した結果をまとめたものである。

本素子については、光信号の検出はフォトダイオードでおこない、信号の記憶はフォトダイオードで発生した光信号電荷を MNOS (Metal-Nitride-Oxide-Semiconductor) メモリゲートに注入し、そのフラットバンド電圧の変化として書き込むことで実現している。

この光信号の書き込み動作について、MNOS キャパシタのトンネル注入に関する Chang および Lundström らの理論をフォトダイオード電位で制御される任意の基板表面電位で解析可能な独自の動作モデルに拡張し、光書き込み機構を理論的に明らかにした。その結果、入射光量の減少にともなう書き込み効率の低下は、光信号電荷にバイアス電荷を重ねることにより大幅に改善できること、広い光量範囲にわたり直線性のよい光書き込み特性を得るには、メモリゲート電極に加える書き込み電圧の振幅と印加時間の間に最適な関係があること、動作電圧、動作速度はメモリサイトとして働くシリコン窒化膜厚に大きく依存することなどを明らかにした。

この結果を試作素子の特性と比較し、この動作モデルが実験結果をよく説明できること、および素子の最適設計に使用できることを明らかにした。最終的には $0.01\text{mW}/\text{cm}^2$ 程度の入射光の書き込みが可能となり、2桁以上のダイナミックレンジが実現できた。

このようにして蓄えた記憶情報を正しく読み出す方法の一つとして、素子に一定量の光を当て、その出力電流を前述したフラットバンド電圧の変化量に対応して読み出すことを試みた。そこではフォトダイオードの最大蓄積容量が、メモリゲート部のフラットバンド電圧の大きさにより変調されるように動作条件を設定することが重要となるこのとき、出力電流の積分値を検出してやれば、メモリゲートに記憶された信号を非破壊的に読み出せることを確かめ、これを読み出しモードと名付けた。読み出しうるフラットバンド電圧の変化量の範囲は、メモリゲート電圧の値が大きい方が広い。

逆に、フォトダイオードの最大蓄積容量が、フラットバンド電圧によるよりは、一定のドレイン電圧 V_D により決まるときは、出力の積分値がメモリゲート部のフラットバンド電圧に依存せず、素子からの出力は入射光量のみ依存することを見出した。この状態での光電変換特性は、フラットバンド電圧の大きさによらず一致し、しかもその γ 値は1に近くなるので、入射光強度が検出できることを明らかにした。この動作を撮像モードと名付けた。

これら読み出しおよび撮像動作モードは、それぞれ通常の MOSFET のドレイン電圧—電流特性の飽和領域ならびに線形領域での動作に対応していることを実験からたしかめた。したがって、メモリゲート下の表面電位を ϕ_{MG} とすると、前者では $\phi_{MG} < V_D$ 、後者では $\phi_{MG} > V_D$ なる条件が成立し、両モードの選択はドレイン電圧を変えることにより可能であることを明らかにした。

さらに個別素子による 5×5 の2次元アレイを試料し、全画素同時の光書き込みならびに順次走査による読み出しと撮像実験をおこない、画像の入力ならびに記憶素子としても動作することをたしかめた。

次に本素子の応用として、記憶信号と撮像信号間で精度の高い乗算動作のできる画素構成を検討し、その理論的根拠と特性および動作限界を明らかにした。すなわち、フォトダイオード部を共通にした二つのメモリゲートをもつ画素構成で、フォトダイオードのプリセット時の最大蓄積容量がドレイン電圧で決まる線形領域で動作させ、それぞれのメモリゲートを流れる電流の積分値の差を検出すると、記憶信号と撮像信号間の乗算出力が得られる。

また乗算の精度は、フォトダイオード接合容量の電圧依存性および、フォトダイオードに蓄えられた信号電荷を読み出す時定数のフラットバンド電圧依存性に支配されること、さらに素子の動作範囲はフォトダイオードの飽和光量ならびに過大なフラットバンド電圧の変化による線形動作範囲からのずれにより、制限されることを実験と数値解析上より示した。

以上のように、撮像素子の知能化の要請に対して、本研究により従来の撮像素子には不可能であった演算動作を実現さし、固体撮像素子の応用範囲を広げることができた。