

論文の内容の要旨

論文題目 「Study on the charge trapping phenomena in silicon carbonitride films for nonvolatile semiconductor memory applications」
(不揮発性半導体メモリへの応用のためのシリコン炭窒化膜の電荷捕獲現象に関する研究)

学位申請者 SHEIKH RASHEL AL AHMED

キーワード: nonvolatile memory, silicon carbonitride, charge centroid, charge retention, charge trap center

The metal-oxide-nitride-oxide-semiconductor (MONOS)-type memory with an ultrathin tunnel oxide film has attracted considerable attention for embedded nonvolatile memory (NVM) applications. Electrons and holes captured by charge trap centers existing in the silicon nitride charge trapping film induce a shift in the threshold voltage of memory transistors in the MONOS-type devices. This phenomenon is applied to store data. The memory cell size in the MONOS-type devices has been becoming smaller in the past few decades. In such small memory cells, it is a challenge to promote the programming and erasing speeds and data retention simultaneously. Therefore, a better understanding of the electron and hole trapping mechanisms and of the emission mechanism of carriers trapped in the charge trapping films is important. In this dissertation, the constant-current carrier injection method was proposed to analyze the charge centroid of carriers trapped in the charge trapping films. Recently, silicon carbonitride (SiCN) dielectric film has been expected to be an attractive candidate of the charge trapping film of embedded NVMs instead of the silicon nitride film. Unfortunately, there are few reports on the charge trapping phenomenon in the SiCN-based memory. Therefore, a comparative study of the charge centroid of holes captured by empty trap centers in the SiCN and silicon nitride charge trapping films was made using the proposed constant-current hole injection method and the hole transport in both films was discussed also. The elimination of electrons trapped in the charge trapping films was also investigated by using the proposed method. In addition, an improved analytical method for the charge retention characteristics in the charge trapping films was presented and the energy distribution of electrons trapped in the SiCN films without any adjustable parameters was obtained. This dissertation consists of five chapters. The contents of each chapter are summarized as follows.

Chapter 1 states the overview of the dissertation. In this chapter, the relationship between the properties of the charge trap centers and the performance and reliability of NVMs was explained. The background and objectives of the present research were described. The organization of the

dissertation was described also.

In chapter 2, the constant-current carrier injection method was proposed to obtain the charge centroid of charge carriers trapped in the charge trapping films and to count the number of carriers injected to the films. The proposed method was used to inject holes into the SiCN and silicon nitride charge trapping films with only empty trap centers, and the charge centroid of holes trapped in the films was extracted. The charge centroid of trapped holes was initially located near the middle of the films, and then moved to the vicinity of the blocking oxide films with increasing the number of holes injected to the charge trapping films. It was also found that the charge centroid of holes trapped in the SiCN film was closer to the blocking oxide film as compared to that in the silicon nitride film. These experimental results were explained by taking into account the Poole-Frenkel conduction of holes in the charge trapping films.

In chapter 3, the electron elimination phenomena in the SiCN and silicon nitride charge trapping films with trap centers filled by electrons was investigated by using the constant-current carrier injection method. It was found that almost all electrons trapped in the charge trapping films could be eliminated due to hole injection under negative gate bias.

In chapter 4, an improved analytical method for the charge retention characteristics in the charge trapping films was presented. This method allows us to extract the energy distribution of charge carriers trapped in the SiCN or new dielectric films. Using the proposed method, the trapped electrons were determined to be distributed from 0.8 to 1.3 eV below the conduction band edge in the SiCN charge trapping film. The presence of such deep trap centers lead us to suggest that the SiCN dielectric films can be employed as the charge trapping film of embedded NVMs.

Chapter 5 describes the summary of the dissertation, and finally suggestions for future studies of the research were delivered.

As described above, the dissertation proposes the constant-current carrier injection method and the analytical method for the charge retention characteristics in the charge trapping films. It is shown that the constant-current carrier injection method is useful for obtaining the accurate charge centroid of carriers trapped in the charge trapping films. The experimental results and discussion shown in this dissertation are important to get a better understanding of the hole trapping phenomena in the SiCN and silicon nitride charge trapping films. From the view point of the charge retention of NVMs, the proposed analytical method for the charge retention characteristics, which needs no adjustable and extra parameters, is very helpful for determining the energy distribution of carriers trapped in the SiCN or new dielectric films. The two methods proposed in the present study are considered to be advantageous to develop embedded NVMs employing the SiCN or new charge trapping films.

論文の内容の要旨 (和訳)

論文題目 「Study on the charge trapping phenomena in silicon carbonitride films for nonvolatile semiconductor memory applications」
(不揮発性半導体メモリへの応用のためのシリコン炭窒化膜の電荷捕獲現象に関する研究)

学位申請者 SHEIKH RASHEL AL AHMED

キーワード: 不揮発性メモリ、シリコン炭窒化膜、電荷重心、電荷保持特性、電荷捕獲中心

極薄トンネル酸化膜を有する金属-酸化膜-窒化膜-酸化膜-半導体 (MONOS: metal-oxide-nitride-oxide-semiconductor) 型メモリデバイスが、ロジックデバイス混載用不揮発性メモリとして注目を集めてきた。従来の MONOS 型デバイスでは、シリコン窒化膜からなる電荷捕獲膜に存在する電荷捕獲中心に電子および正孔を捕獲させることによってメモリトランジスタの閾値電圧を変化させ、情報を記憶している。しかし、過去数十年に渡って MONOS 型デバイスのメモリセルサイズの縮小が続けられ、微細となったデバイスにおいて書き込み消去特性とデータ保持特性を両立させることが大きな課題となっている。そのため、電荷捕獲膜における電子および正孔の捕獲機構および、捕獲された電子・正孔の放出機構の十分な理解が重要である。これらの電荷捕獲放出現象について理解を深めるために本論文では、電荷捕獲膜中で捕獲されたキャリアの電荷重心を求めることができる定電流キャリア注入法を提案した。一方近年、シリコン窒化膜に取って代わる電荷捕獲膜材料として、シリコン炭窒化膜が期待を集めている。しかしシリコン炭窒化膜を用いたメモリデバイスの電荷捕獲現象はこれまで十分に調べられていない。そのため提案した定電流キャリア注入法を応用し、シリコン炭窒化膜およびシリコン窒化膜からなる電荷捕獲膜の捕獲中心に捕らえられた正孔の電荷重心を求め、膜中での正孔の輸送現象について明らかにした。また、定電流キャリア注入法を用いて、電荷捕獲膜に捕らえられた電子の消滅現象についても検討を行った。加えて、電荷捕獲膜の電荷保持特性の新たな解析方法を提案し、シリコン炭窒化膜に捕獲された電子のエネルギー分布を明らかにした。本論文は 5 章から成っており、各章の内容と成果は以下の通りである。

第 1 章は序論である。本章では、電荷捕獲中心の諸性質と不揮発性メモリの性能および信頼性との関係について論述した。本研究の背景と目的を明らかにし、本論文の構成につ

いても記述した。

第 2 章では、電荷捕獲膜に捕獲されたキャリアの電荷重心を求めることができ、電荷捕獲膜に注入されたキャリアの数を見積もることを可能にする定電流キャリア注入法を提案した。提案した方法を用いて、電荷を捕獲していない状態の捕獲中心だけを有しているシリコン炭窒化膜およびシリコン窒化膜に正孔を注入し、それらの電荷捕獲膜に捕らえられた正孔の電荷重心を求めた。その結果、注入する正孔の数を増すにつれて、正孔の電荷重心がそれぞれの膜の中央付近からブロッキング酸化膜の近傍へと移動することが分かった。また、シリコン窒化膜中の正孔の電荷重心に比べて、シリコン炭窒化膜中の正孔の電荷重心がブロッキング酸化膜に近いことが明らかとなった。これらの実験結果を正孔のプール・フレンケル伝導を考慮することによって説明できることを示した。

第 3 章では、定電流キャリア注入法を用いて、電子を捕らえた状態の捕獲中心を有するシリコン炭窒化膜およびシリコン窒化膜における電子消滅現象について調べた。その結果、これらの電荷捕獲膜に捕獲された殆ど全ての電子を負ゲートバイアス下での正孔注入によって取り除くことができることを見出した。

第 4 章においては、電荷捕獲膜の電荷保持特性の新たな解析方法を提案した。この方法を用いることで、シリコン炭窒化膜等の新規な誘電体膜に捕らえられたキャリアのエネルギー分布を明らかにすることができる。提案した方法を用いて、シリコン炭窒化膜に捕獲された電子が伝導帯下端から 0.8~1.3 eV の禁制帯中に分布していることが分かった。このような深い捕獲準位が存在することから、シリコン炭窒化膜が混載用不揮発性メモリの電荷捕獲膜として有用であると提案した。

第 5 章には、本論文の結言を記述した。加えて、本研究を更に進展させるための提案を記している。

以上のように本論文では、定電流キャリア注入法および、電荷捕獲膜の電荷保持特性の新たな解析方法を提案した。そして、定電流キャリア注入法によって電荷捕獲膜に捕獲されたキャリアの電荷重心を正確に求めることができることを示した。本論文において示された実験結果と議論は、シリコン炭窒化膜およびシリコン窒化膜における正孔捕獲現象の理解を深めるために重要な知見を与えている。電荷保持特性について提案した解析方法は、

フィッティングパラメータなどを一切必要とせず、シリコン炭窒化膜等の新規な誘電体膜に捕獲されたキャリアのエネルギー分布を決定することができる非常に有用な方法である。本研究で提案されたこれら 2 つの方法は、シリコン炭窒化膜や新規な電荷捕獲膜を用いる混載用不揮発性メモリの開発に対し有用な手段を提供するものである。