

## 論文内容の要旨

博士論文題目 生体超分子を利用した次世代半導体メモリの研究

氏名 小原孝介

### (論文内容の要旨)

フローティングゲートメモリの特性向上は、次世代のメモリ素子の高性能化および大容量化の観点から、非常に重要な課題である。高性能のフローティングゲートメモリとして、金属ナノドットを利用したナノドット型が有望とされており、その金属ナノドット形成手法の一つとして、フェリチンと呼ばれる生体超分子を利用した金属ナノドット形成手法が提案されてきた。しかし、フェリチンを利用して形成されるナノドットは酸化物であるため、電子ノードとして利用するには還元処理が必要となり、還元処理によるメモリ特性の劣化が問題となる。また、フェリチンを利用した場合、ナノドットの吸着密度を  $8.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  以上増加できないため、微細化に向けては障害となる。本研究では、フェリチンを利用した低温での金属ナノドット形成およびナノドット層の積層化によるナノドット吸着密度の増大という 2 つの取り組みを通してナノドット型フローティングゲートメモリの特性向上を試みた。

フェリチンを利用したナノドットの低温形成に関して、硫化プラチナ(PtS)を内包したフェリチンを利用して、フローティングゲートメモリの作製を行った。その結果、従来のナノドット形成手法よりも低温である  $300^\circ\text{C}$  で、ゲート酸化膜中に金属ナノドットが形成されていることが確認された。また、Pt ナノドットを利用することで、低電圧駆動(10V)、10年以上の電荷保持および  $10^5$  回書込消去を繰り返しても特性が変化しないメモリを作製することができた。

ナノドット層の積層による吸着密度の増加の試みに対して、Bio-LBL 法と呼ばれるフェリチンを自己組織化的に積層させる手法を利用した。その結果、積層されたナノドットにより、密度の向上を確認した。また、積層ナノドットが埋め込まれたフローティングゲートメモリの特性に関して、ナノドットの積層数を増やすことで、メモリウィンドウ幅および電荷保持特性が向上した。3層構造では、5 V という低電圧で動作し、電荷を 10 年以上保持する高性能および高信頼性のメモリを作製することができた。

本研究で得られた知見は、次世代の情報化社会を担うメモリ素子を開発するうえで重要であろう。

(論文審査結果の要旨)

本論文提出者は、生体超分子を利用した次世代半導体メモリについての研究を行った。フローティングゲートメモリの特性向上は、次世代のメモリ素子の高性能化および大容量化の観点から、非常に重要な課題である。高性能のフローティングゲートメモリとして、金属ナノドットを利用したナノドット型が有望とされており、その金属ナノドット形成手法の一つとして、フェリチンと呼ばれる生体超分子を利用した金属ナノドット形成手法が提案されてきた。しかし、フェリチンを利用して形成されるナノドットは酸化物であるため、電子ノードとして利用するには還元処理が必要となり、完全に還元されていない酸化物ナノドットや還元処理によって発生した酸化膜中へのダメージがメモリ特性を大きく劣化させてしまうことが問題となる。また、フェリチンを利用した場合、ナノドットの吸着密度を  $8.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  以上に増加できないため、微細化した際に 1 つのメモリ中に存在するナノドットが数個単位になってしまい、電荷の注入量が減少する。従って、微細化した際に高信頼性のメモリ機能が維持できず、メモリの微細化に向けては障害となる。本研究では、フェリチンを利用した低温での金属ナノドット形成およびナノドット層の積層化によるナノドット吸着密度の増大という 2 つの取り組みを通してナノドット型フローティングゲートメモリの特性向上を試みた。フェリチンを利用したナノドットの低温形成に関して、硫化プラチナ (PtS) を内包したフェリチンを利用して、Pt ナノドットが埋め込まれたフローティングゲートメモリの作製を行った。その結果、従来のナノドット形成手法よりも低温である  $300^\circ\text{C}$  で、ゲート酸化膜中に金属ナノドットが形成されていることが確認された。また、Pt ナノドットを利用することで、低電圧駆動、10 年以上という長寿命の電荷保持および  $10^5$  回書込消去を繰り返しても特性が変化しないメモリを作製することができた。一方、ナノドット層の積層による吸着密度の増加の試みに対して、Bio-LBL 法と呼ばれるフェリチンを自己組織的に積層させる手法を利用した。フェリチン内部に形成されるナノドットの種類およびタンパク質の除去手法を最適化することで、ナノドットが隔離された積層構造を形成した。さらに、積層されたナノドットにより、密度の向上を確認した。また、積層ナノドットが埋め込まれたフローティングゲートメモリの特性に関して、ナノドットの積層数を増やすことで、メモリウィンドウ幅および電荷保持特性が向上した。3 層構造では、5 V という低電圧で動作し、電荷を 10 年以上保持する高性能および高信頼性のメモリを作製することができた。

以上のように、本論文は、生体超分子を用いた新規な半導体プロセスを確立し、その動作機構の解明やメモリ機能の高性能化を実証しており、学術的に意義深い。よって審査委員一同は、本論文が博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認めた。