

博士学位論文 審査結果の要旨

芝浦工業大学大学院 理工学研究科 博士（後期）課程

博士学位論文審査委員会

主 査 弓野健太郎

審査委員 野田和彦

審査委員 下条雅幸

審査委員 上野和良

審査委員 喜多浩之

*審査委員

氏 名	川嶋 智仁
論文題目	シリコン酸化膜における光照射による伝導パスの消失に関する研究

〔論文審査の要旨〕

SiO₂ は、シリコン(Si)プロセスにおいて容易に高品質のものが形成できるため、ゲート絶縁膜等として利用されている。また、SiO₂ の劣化機構の解明も進められており、SiO₂ を構成する Si と酸素(O)の結合が切れ、そこで生じた酸素空孔などの欠陥が増えることでリーク電流のパスがナノスケールから徐々に拡大していくことが分かってきた。一方、SiO₂ は抵抗変化メモリの抵抗変化層としても注目されており、その多くは電圧印加によって銅(Cu)などの電極から金属イオンが SiO₂ 中に拡散、金属フィラメントを形成することを利用する。抵抗変化メモリに関して、最近、光により抵抗が変化するメモリが報告されている。これは、従来の電気制御だけでなく、光を新たな制御手段として抵抗を変化させようというものである。しかし、SiO₂ を用いたメモリに適用した例はまだ報告されていない。そこで、本研究では SiO₂ 中に形成される伝導パスに対する光の影響を調べた。ナノスケールの伝導パスを評価するため、導電性原子間力顕微鏡を用いた。

Si 上の SiO₂ に電圧を印加してナノスケールの伝導パスを形成後、白色光を照射したところ、電流の急激な減少(光誘起抵抗リセット, LIR: light-induced reset)が見られた。また、十分な光照射を行うことで絶縁性がほぼ元の状態まで回復できることが分かった。これは、伝導パス中の酸素空孔が光励起された酸素イオンと再結合し、伝導パスが切断されるためであると考察している。次いで、抵抗変化メモリを模擬した構造とするため、Cu 下部電極上に SiO₂ を成膜、同じように光照射の影響を調べた。Si 上と同様に光照射に伴う LIR が見られたが、光照射前に伝導パス形成時と同じ電圧掃引を繰り返すと、光に反応しなくなることが分かった。一方、Si 上ではこのような LIR の消失は見られなかった。この結果から、Cu 上の伝導パスは、Cu フィラメントの他にも酸素空孔を含んでおり、最初は Si 上と同様に光に反応するが、電圧掃引によって電極から拡散する Cu イオンが増加し、伝導パスが完全な Cu フィラメントに置き換わると光に反応しなくなると考察している。

また、Cu とそれ以外の金属電極(Ni, Ti, Al)について LIR の発生確率を比較し、Cu、Ni では Ti、Al より低いことが分かった。SiO₂ 中に拡散しやすい Cu、Ni 電極では、光に反応しない金属フィラメントが形成されるためと考察している。以上から、SiO₂ 中における酸素空孔から成る伝導パスは、光により分解して絶縁性が回復するが、SiO₂ 中の金属フィラメントから成る伝導パスは光に反応しにくいと考察した。今後、この光による抵抗リセットおよび伝導パスの構成要素による光応答性のコントロールは、光でも制御可能な新メモリや光センサなどへの応用が期待される。

以上、本論文はLSIやメモリにおいて重要な絶縁膜であるシリコン酸化膜中に生じたナノスケールの伝導パスに対し、光照射を行うと伝導パスが消失することを初めて見出し、その消失条件やメカニズムについて考察したものであり、博士論文として合格と認められる。