

次世代高誘電率ゲート絶縁膜 HfSiON の寿命予測技術

HfSiON の実用化を 目指して

従来使われてきたシリコン酸化膜 (SiO₂) に替わるゲート絶縁膜として高誘電率ゲート絶縁膜が検討されており、窒素添加ハフニウムシリケート (HfSiON) はもっとも有力な材料として、実用化に向けて開発が進められています。

しかし、このような、従来とは異なる材料をゲート絶縁膜としてトランジスタに用いた際の信頼性は、まだ明らかになっていません。信頼性の問題の中でも、ゲート絶縁膜の絶縁破壊の寿命予測は重要な課題の一つです。

今回、HfSiON の絶縁破壊特性を従来の SiO₂ との比較を通して詳細に調べた結果、HfSiON 特有の破壊機構が存在することがわかりました。HfSiON の寿命を予測する際に、従来の SiO₂ とは異なる、HfSiON 特有の破壊機構に基づいた指標を用いることが必要であるといえます。

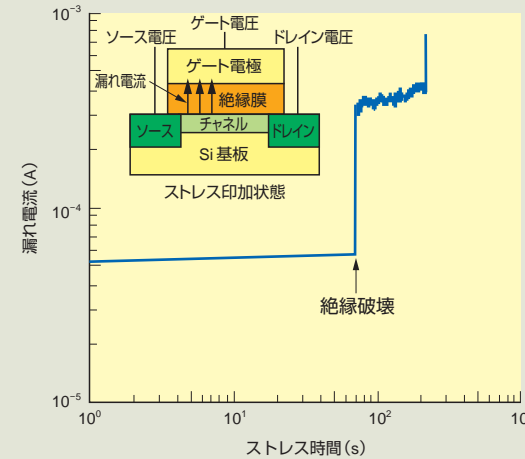


図1. 定電圧ストレス下での漏れ電流の時間依存性 — 絶縁破壊が起こると、急激に漏れ電流が増加します。

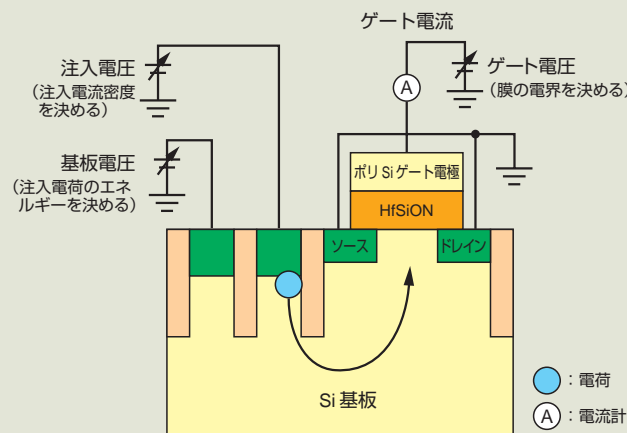


図2. 実験に使用したトランジスタの模式図 — 特殊なトランジスタを使うことにより、ゲート絶縁膜にかかる電界、膜を通過する電荷のエネルギー、膜を通過する電流量をそれぞれ独立に制御することができます。

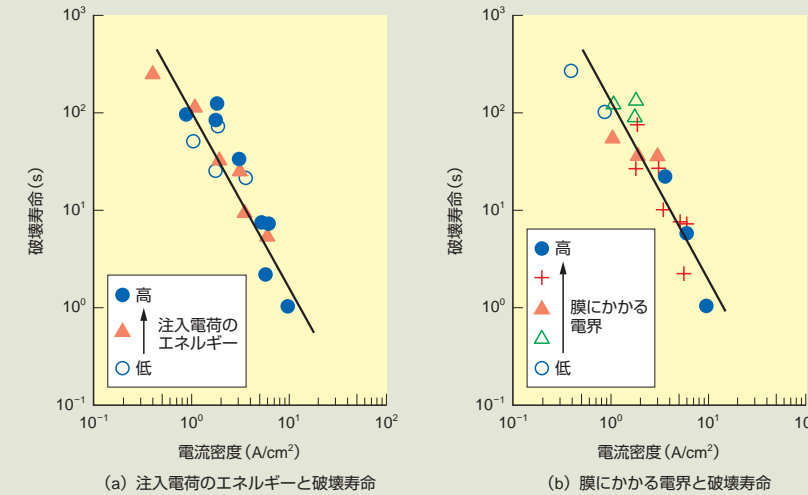


図3. HfSiON における絶縁破壊寿命の電流密度依存性 — HfSiON の破壊寿命は、電荷のエネルギーや膜にかかる電界に依存せず、膜を通過する電流量に強く依存することがわかりました。

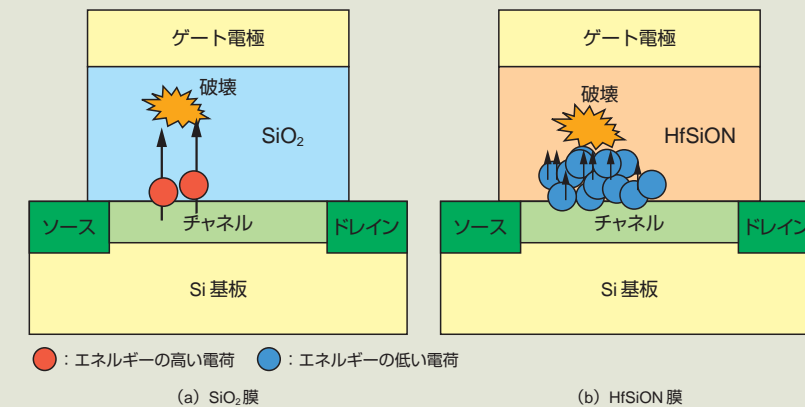


図4. 絶縁破壊機構の模式図 — SiO₂ 膜では電流量が少なくてもエネルギーの高い電荷が膜を流れると破壊が起こりますが、HfSiON では電荷のエネルギーが小さくても膜を流れる電流量が大きいと破壊が起こります。

電荷のエネルギーが支配的な役割を果たしていると報告されています。これに対して、HfSiON の破壊寿命は電界や電荷のエネルギーにはあまり依存せず、電流量に強く依存するという特異な性質を持つことがわかりました。

以上の実験結果を基に、HfSiON と SiO₂ の破壊機構の違いを図4に模式的に示します。SiO₂ では、電荷のエネルギーが高ければ、少ない電流量でも破壊が引き起こされますが、HfSiON では、電荷のエネルギーが低くても、大量の電荷が同時に膜を流れると破壊が起こります。この結果から、HfSiON では、膜を流れる電流量を指標とした破壊寿命の予測技術が必要になると考えています。

今後の展望

HfSiON は、実用化にもっとも近い高誘電率ゲート絶縁膜として開発が進められています。しかし、実用化には、まだいくつかの解決すべき課題が残されており、その一つは信頼性予測の問題です。

当社は、問題となる現象がどのようにして起こるのかを明らかにすることで、高信頼な HfSiON を用いた LSI のいち早い製品化を目指していきます。

平野 泉

研究開発センター
LSI 基盤技術ラボラトリー

次世代高誘電率ゲート絶縁膜 HfSiON

LSI の高性能化と高集積化に伴い、トランジスタの微細化が進められています。しかし、微細化に伴うゲート絶縁膜の薄膜化によって、従来の SiO₂ 膜では漏れ電流が増大し、消費電力の増大が問題となります。そこで、漏れ電流を少なくするために、SiO₂ に替わる次世代高誘電率ゲート絶縁膜のもっとも有力な材料として、窒素添加ハフニウムシリケート (HfSiON) が実用化に向けて開発されています (東芝

レビュー, 58, 4, 2003, p70-71 参照)。

HfSiON の実用化における課題

このような高誘電率ゲート絶縁膜を実用化するためには、長期信頼性を保証する必要があります。その中でも、絶縁破壊寿命は重要な項目の一つです。トランジスタのゲート絶縁膜には、絶えず微量な漏れ電流が流れています。そのため、トランジスタを長期にわたって使用すると、ゲート絶縁膜の絶縁性が劣化して漏れ電流が大きく増加してしまいます (図1)。このような現象を経時絶縁破壊と呼びます。絶縁

破壊が起きると、トランジスタは正常に動作しなくなります。

LSI 製品を構成するトランジスタの動作中にゲート絶縁膜が絶縁破壊してしまうことを避けるため、絶縁膜の寿命を保証することは重要となります。しかし、実際の動作条件で 10 年以上の寿命が保証できるかどうかを調べるためには、10 年以上の時間がかかってしまいます。そこで、寿命の保証をするためには、絶縁破壊がどのように起こっているかを調べ、それに基づいて絶縁破壊寿命を短時間に予測する技術が必要となります。

これまで、SiO₂ においては、絶縁破壊機構について様々な検討がなされています。しかし、HfSiON をゲート絶縁膜として使用した場合の絶縁破壊機構については、まだ明らかになっていません。

HfSiON の絶縁破壊機構

東芝は、HfSiON の絶縁破壊機構について、SiO₂ との比較を通して詳細に調べました。これまでの SiO₂ の破壊機構の研究から、絶縁膜の破壊を引き起こす要因として、①絶縁膜にかかる電界、②絶縁膜を流れる電荷のエネルギー、③絶縁膜を流れる電流量、が考

えられます。そこで、HfSiON の破壊に対して、これらのうち何が支配的な要因となっているかを調べるために、図2に示すような特殊なトランジスタを用いて測定を行いました。このトランジスタを用いると、ゲート電圧、基板電圧、注入電圧を変化させることにより、上記の①、②及び③をそれぞれ独立に制御して、破壊過程を詳細に調べることができます。

図3は、HfSiON が絶縁破壊するまでの時間 (破壊寿命) を膜に流れる電流量 (電流密度) で整理した結果を示しています。SiO₂ 膜の破壊では、膜を流れる