

УДК 621.382.2

ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ МДП-УСТРОЙСТВ С ЗАТВОРНЫМИ ОКСИДАМИ РЗЭ

© Кропотов М.С., Краснов А.С., Шалимова М.Б.

*Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: kropotovmike@mail.ru

Структуры металл – диэлектрик – полупроводник (МДП) являются необходимой составной частью МДП транзисторов, энергонезависимых элементов памяти, приборов с зарядовой связью и т. д. Наибольшее внимание обычно приковано к толщине пленки окисла и качеству границы раздела диэлектрик – полупроводник. С течением времени характеристики приборов изменяются и плывут, выходят за установленные стандартом допуски, и прибор выходит из строя. Это явление называется деградацией.

При испытаниях приложенным напряжением оксидная пленка теряет свои изоляционные свойства в два этапа [1–4]. Во-первых, в фазе износа внутри оксида образуются ловушки, которые увеличивают ток утечки через пленку. В конце концов эти ловушки перколируют по определенному пути или тракту, который соединяет два электрода через оксид. Мягким пробоем называется локальный пробой диэлектрика без последующего расширения пробитой области, в отличие от жесткого (катастрофического) пробоя, при котором локальное повреждение может распространиться на всю площадь прибора.

В настоящей работе изучаются электрофизические свойства кремниевых МДП-структур с оксидами редкоземельных элементов (РЗЭ) для оценки возможности использования данных материалов в качестве затворных диэлектриков устройств на основе МДП-структур. Данные структуры изучаются также с точки зрения оценки деградации их электрофизических свойств под действием электрических полей $\sim 10^8$ В/м, которые действуют на диэлектрик в процессе электроформовки, поскольку МДП-структуры с оксидами РЗЭ обладают свойством бистабильного переключения. На рисунке представлен график зависимости поля мягкого пробоя от толщины пленки оксида диспрозия и оксида эрбия на кремнии. Рисунок показывает, что электрическая прочность оксидов увеличивается с уменьшением толщины диэлектрика.

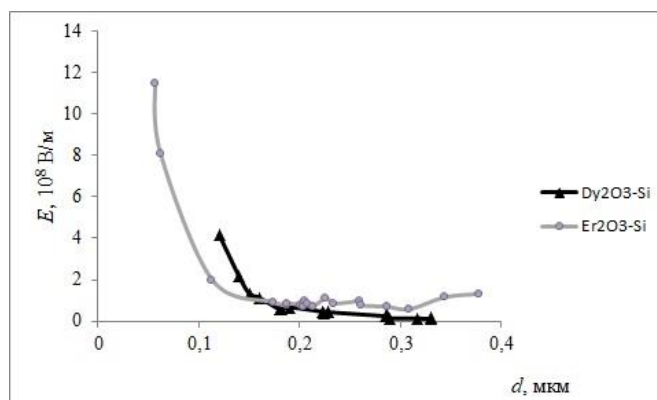


Рис. Зависимость напряженности электрического поля мягкого пробоя от толщины пленки оксида диспрозия и оксида эрбия

Наблюдаемые экспериментальные зависимости объясняются с точки зрения рассеиваемой в процессе электроформовки мощности. Во время фазы износа ток от электродов уравнивается пространственно однородным туннельным током через оксид. После того как процесс локализованной перколяции завершен, через этот перколяционный тракт начинает течь значительный ток I_{perc} [5–6]:

$$I_{perc} = G_0(t)V(t)^{\delta\delta}, \quad (1)$$

где V – приложенное напряжение, δ – некоторый коэффициент.

При постоянном напряжении $V(t)=E$, так что рассеяние мощности принимает простую форму, т. е.

$$P_{perc} = EI_{perc} = G_0E^{\delta+1} = G_pE^2/\delta. \quad (2)$$

Локальная температура T_{perc} из-за рассеивания мощности через перколяционный тракт получается путем решения уравнения рассеивания тепла [7]:

$$c_p\rho \frac{dT_{perc}}{dt} + k\nabla^2 T_{perc} = P_{perc}(t), \quad (3)$$

если P_{perc} превышает определенную критическую плотность мощности P_{crit} , T_{perc} будет достаточно высокой, чтобы расплавить кремний около пятна перколяции и позволить току протекать через оксид. Это вызовет омическое короткое замыкание в оксиде [8–9], т. е. жесткий пробой. Однако если $P_{perc} < P_{crit}$, то перколяционный тракт будет сохраняться даже после пробоя (хотя ток утечки через оксид будет увеличиваться). Это мягкий пробой. Для достижения критической температуры более тонкие оксиды требуют более высоких значений P_{crit} [10], поскольку термическое сопротивление почти линейно зависит от толщины оксида [7; 11].

Библиографический список

1. Lee S.-H. Quasi-breakdown in ultrathin gate oxides under high field stress / S.-H. Lee, H.-J. Cho, J.-C. Kim and S.-H. Choi // IEDM Tech. Dig. 1994. P. 605–608.
2. Okada K. New experimental findings on stress induced leakage current of ultrathin silicon dioxides / K. Okada, S. Kawasaki, and Y. Hirofujii // Int. Conf. Solid State Devices Material 1994. P. 565–567.
3. Depas M. Soft breakdown in ultrathin gate oxide layers / M. Depas, T. Nigam, and M.H. Heynes // IEEE Trans. Electron Devices 1996. Vol. 43. P. 1499–1507.
4. Depas M. Reliability of ultrathin gate oxide below 3 nm in the direct tunneling regime / M. Depas, R. Degraeve, G. Groeseneken, and M. Heynes // Jpn. J. Appl. Phys. 1997. Vol. 36. No. 38. P. 1602–1608.
5. Bude J. Explanation of stress induced damage in thin oxides / J. Bude, B. Weir, and P. Silverman // IEDM Tech. Dig. 1998. P. 179–181.
6. Wu E. Structural dependence of dielectric breakdown in ultrathin gate oxides and its relationship to soft broken modes and device failure / E. Wu, K. Nowak, J. Aitken, W. Abadeer, L.K. Han, and S. Lo // IEDM Tech. Dig. 1998. P. 187–190.
7. Ridley B. K. Mechanism of electrical breakdown in SiO₂ films // J. Appl. Phys. 1975. Vol. 46. No. 3. P. 998–1007.
8. Klein N. Switching and breakdown in films // Thin Solid Films 1971. P. 149.
9. Satake H. Dielectric breakdown mechanism of thin-SiO₂ studied by post-breakdown resistance statistics / H. Satake and A. Toriumi // VLSI Tech. Dig. 1999. P. 61–62.
10. Alam M.A. A study of soft and hard breakdown–Part II: Principles of area, thickness, and voltage scaling / M.A. Alam, B. E. Weir, and P.J. Silverman // Trans. Electron Devices. 2002. Vol. 49. P. 239–246.
11. Lombardo S. Degradation and hard breakdown spots in silicon dioxide films as point contacts // J. Appl. Phys. 1999. Vol. 86. No. 11. P. 6382–6391.