

06.2

Энергетические барьеры и центры захвата в кремниевых МДП-структурах с диэлектриком из оксида самария и иттербия

© В.А. Рожков, А.Ю. Трусова, И.Г. Бережной

Самарский государственный университет

Поступило в Редакцию 12 сентября 1997 г.

Методом внутренней фотоэмиссии носителей заряда в диэлектрик определены энергетические барьеры для электронов на границах раздела Al-Sm₂O₃ (2.89-2.91 eV), Ni-Sm₂O₃ (3.29-3.33 eV), Si-Sm₂O₃ (2.70-2.72 eV), Al-Yb₂O₃ (2.90-2.92 eV), Ni-Yb₂O₃ (3.30-3.32 eV), Si-Yb₂O₃ (3.18-3.21 eV) в кремниевых металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) структурах с диэлектриком из оксида самария и иттербия. Исследованы параметры глубоких электронных ловушек в оксиде самария и иттербия. Определены энергетическое положение электронных центров захвата, величина и "центроид" захваченного заряда, отношение захваченного в диэлектрике заряда к прошедшему через структуру заряду. Показано, что "центроид" захваченного заряда располагается почти в центре диэлектрического слоя для обеих исследованных структур. Установлено, что в исследованных МДП-структурах граница раздела оксид редкоземельного элемента-Si резкая и не содержит протяженного нарушенного слоя.

К числу перспективных диэлектрических материалов для дискретных приборов полупроводниковой электроники и элементов интегральных схем относятся оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ). На основе этих соединений разработаны кремниевые металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) варикапы с высокими значениями коэффициента перекрытия емкости и крутизны вольтфарадной характеристики (ВФХ) [1], электрические переключающие элементы с памятью [2] и эффективные просветляющие и пассивирующие покрытия для кремниевых фотоэлектрических приборов [3]. Однако до настоящего времени отсутствуют сведения о величинах энергетических потенциальных барьеров на границах раздела оксидной пленки и параметрах центров захвата носителей заряда в МДП-системах с оксидами РЗЭ в качестве

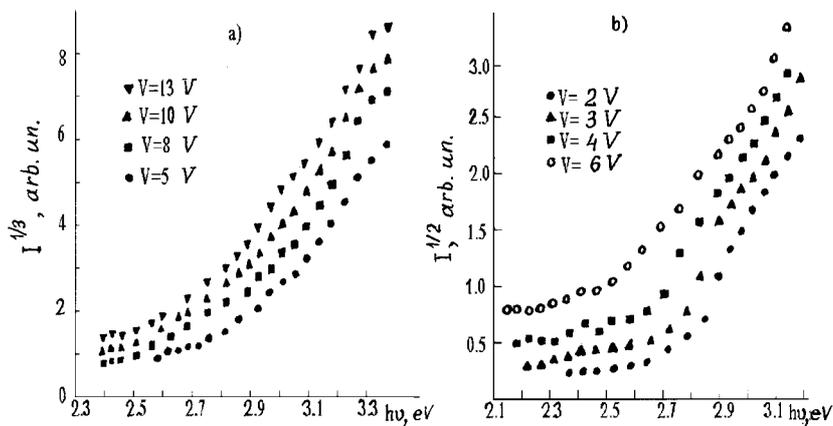


Рис. 1. Зависимости приведенного фототока структуры Al-Sm₂O₃-Si от энергии падающих фотонов при различных положительных (а) и отрицательных (б) напряжениях.

диэлектрика. Значения этих параметров определяют основные характеристики МДП-приборов и позволяют судить о механизмах электронных процессов, происходящих в них.

В этой связи в настоящей работе исследованы фотоэлектрические свойства кремниевых МДП-структур с диэлектриком из оксида самария и иттербия, определены энергетические барьеры на межфазных границах и параметры электронных центров захвата диэлектрика.

МДП-структуры типа Me-Sm₂O₃-Si и Me-Yb₂O₃-Si (где Me = Al или Ni) изготавливались по методике [2]. Толщина пленки оксида PЗЭ лежала в пределах $d = 0.23-0.28 \mu\text{m}$. Энергетические барьеры на границах раздела металл-оксид PЗЭ и кремний-оксид PЗЭ определялись методом внутренней фотоэмиссии электронов в диэлектрик [4,5] из спектральных и вольтаических зависимостей фототока. Фотоэмиссионные токи измерялись электрометром типа ЭД-05М при освещении образцов монохроматическим светом, получаемым с помощью ксеноновой лампы ДКсЭл 1000-5 и светосильного монохроматора типа МДР-2.

На рис. 1 представлены типичные зависимости приведенного на один фотон фототока I_f от энергии фотона $h\nu$ структуры Al-Sm₂O₃-Si

в координатах $I_f^{1/n}$ от $h\nu$ для различных величин положительного ($n = 3$) и отрицательного ($n = 2$) напряжения V . Характеристики при положительном напряжении на электроде к оксиду РЗЭ (рис. 1, *a*) соответствуют фотоэмиссии электронов из кремния. Дырочная эмиссия из металла в этом случае пренебрежимо мала, т.к. при этой полярности смещений пороговая энергия фотонов не зависит от материала металлического электрода к диэлектрику, а при протекании фототока через диэлектрик, как показывают ВФХ, наблюдается захват отрицательного заряда на глубокие ловушки в Sm_2O_3 . Пороговая энергия фотонов соответствует величине энергии потенциального барьера на границе раздела $\text{Si-Sm}_2\text{O}_3$ при данном положительном напряжении.

Характеристики для $V < 0$ (рис. 1, *b*) соответствуют эмиссии электронов из металла. В этом случае пороговая энергия фотонов не зависит от материала металлического электрода, а в диэлектрическом слое накапливается отрицательный заряд. Величина пороговой энергии фотонов для этих кривых фототока равна энергии потенциального барьера на границе $\text{Me-Sm}_2\text{O}_3$ при данной величине напряжения. Как показали исследования, зависимость величины потенциального барьера E_b от $V^{1/2}$ имеет прямолинейный вид. Экстраполяция прямолинейных зависимостей E_b от $V^{1/2}$ до пересечения с осью E_b позволяет определить энергетические барьеры на границе оксида РЗЭ при отсутствии напряжения E_{b0} . Аналогичные качественные закономерности наблюдались и для структуры с оксидом иттербия. Величины энергетических барьеров на границах диэлектрика в МДП-структурах приведены в табл. 1. Величины E_{b0} на границе с Si одинаковы для МДП-систем с n - и p - Si . Энергетический барьер для границы раздела Ni-оксид РЗЭ на 0.4eV больше, чем для границы Al-оксид РЗЭ , что равно разности работ выхода электронов из металлов. Аналогичные значения энергетических барьеров на межфазных границах пленки оксида РЗЭ получены из вольтаических зависимостей фотоинжекционного тока по методике, описанной в [6].

После облучения структуры, находящейся под действием постоянного напряжения, монохроматическим светом с $h\nu > E_{b0}$ наблюдается сдвиг ВФХ по оси напряжения в сторону положительных значений, что свидетельствует о захвате отрицательного заряда глубокими ловушками диэлектрика.

Для определения энергетической глубины залегания электронных ловушек в оксиде РЗЭ использовался метод фотостимулированной

Таблица 1. Энергетические барьеры на межфазных границах в МДП-структурах

Граничащая с оксидом РЗЭ фаза	AL	Ni	<i>n</i> -Si	<i>p</i> -Si
E_{b0} в структуре Me-Sm ₂ O ₃ -Si, eV	2.89-2.91	3.29-3.33	2.69-2.72	2.70-2.72
E_{b0} в структуре Me-Yb ₂ O ₃ -Si, eV	2.90-2.92	3.30-3.32	3.19-3.21	3.18-3.21

деполяризации. Спектральные зависимости фототока деполяризации структуры Al-Sm₂O₃-Si, измеренные сразу после фотополяризации при энергиях падающих фотонов 5.2 eV в течение 75 минут и повторных измерениях, представлены на рис. 2. На указанных зависимостях после фотополяризации появляется пик фототока с амплитудой, уменьшающейся при повторных измерениях, которого не наблюдалось до заряжения диэлектрика. Данный фототок обусловлен фотовозбуждением захваченных электронов из ловушек в зону проводимости диэлектрика и дрейфом их в диэлектрике. При повторном измерении этих зависимостей степень заполнения электронных ловушек уменьшается и величина пика фототока оказывается меньше. После полного фотоопустошения

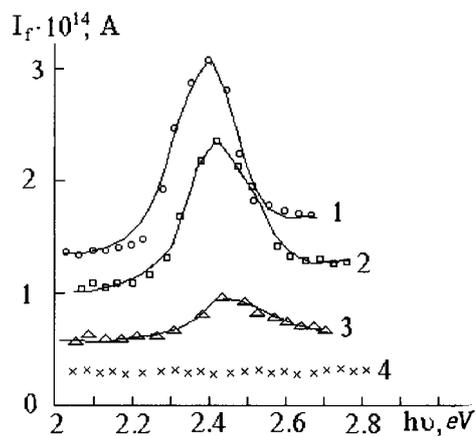


Рис. 2. Спектральные зависимости тока фотодеполяризации: 1 — после фотополяризации; 2 — второе измерение; 3 — третье измерение; 4 — четвертое измерение и исходная характеристика.

Таблица 2. Параметры электронных центров захвата в диэлектрике

Структура	$X_c, \mu\text{m}$	$Q_t, \text{col/cm}^2$	Q_t/Q_g
Al-Sm ₂ O ₃ -pSi	0.10	$1.2 \cdot 10^{-10}$	0.13
Al-Sm ₂ O ₃ -nSi	0.11	$3.7 \cdot 10^{-10}$	0.11
Al-Yb ₂ O ₃ -pSi	0.13	$1.6 \cdot 10^{-10}$	0.16
Al-Yb ₂ O ₃ -nSi	0.13	$4.5 \cdot 10^{-10}$	0.21

электронных ловушек пик исчезает, а фототок (кривая 4, рис. 2) и ВФХ принимают первоначальное значение и положение соответственно. Указанный эксперимент многократно хорошо воспроизводится. Результаты, представленные на рис. 2, позволяют оценить энергетическую глубину залегания электронных ловушек в Sm₂O₃. Как видно, электронные центры захвата располагаются почти в середине запрещенной зоны SM₂O₃ на расстоянии 2.25–2.6 eV от дна его зоны проводимости

Величина и "центроид" захваченного заряда в диэлектрике определялись из смещения вольт-амперной зависимости фототока после облучения [7]. Полученные величины "центроида" X_c , определенные от поверхности Si, захваченного в диэлектрике заряда Q_t и отношения захваченного заряда к прошедшему заряду Q_g сведены в табл. 2. Как видно, "центроид" заряда располагается для обеих исследованных структур почти в центре диэлектрического слоя. Данный результат показывает, что в исследованных структурах граница раздела оксид РЗЭ-Si резкая и не содержит протяженного нарушенного переходного слоя. Это, по-видимому, связано со сравнительно низкими температурами получения диэлектрических пленок, которые не вызывают значительных механических напряжений.

Список литературы

- [1] Вдовин О.С., Кирьяшкина З.И., Котелков В.Н. и др. Пленки оксидов редкоземельных элементов в МДМ- и МДП-структурах. 1983. Саратовский госуниверситет. С. 160.
- [2] Рожков В.А., Петров А.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 1. С. 49–52.
- [3] Аношин Ю.А., Петров А.И., Рожков В.А. и др. // ЖТФ. 1994. Т. 64. № 10. С. 118–123.

- [4] Deal B.E., Snow E.H., Mead C.A. // J. Phys. Chem. Solids. 1966. V. 27. N 11/12. P. 1873–1879.
- [5] Powell R.J. // J. Appl. Phys. 1970. V. 41. N 6. P. 2424–2432.
- [6] Berglund C.N., Powell R.J. // J. Appl. Phys. 1971. V. 42. P. 573–581.
- [7] Di Maria D.J. // J. Appl. Phys. 1976. V. 47. N 9. P. 4073–4079.