

УДК 621.315.592

ЭПР ЦЕНТРОВ ФОТОПАМЯТИ В СТРУКТУРЕ Si—SiO₂

С. Н. Карягин, А. В. Курганский

(кафедра общей физики для химического факультета)

Известно, что дефекты в структурах полупроводник—диэлектрик могут быть ответственны за долговременную оптическую память. Информацию о природе этих центров иногда можно получить с помощью метода ЭПР [1]. Настоящая работа посвящена исследованию структуры Si—SiO₂, подвергнутой ультрафиолетовому (УФ) облучению.

Спектры ЭПР снимались на спектрометре ЭПР-3 с рабочей частотой 10 ГГц и чувствительностью не хуже чем 10¹¹ спин·Гс⁻¹. Объектом исследования были виброизмельченные в вакууме монокристал-

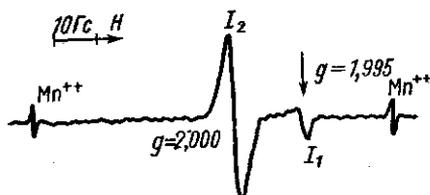


Рис. 1. Типичный спектр ЭПР после УФ-облучения структуры Si—SiO₂

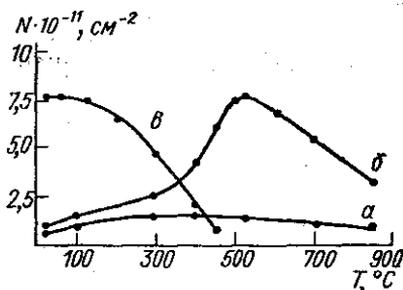


Рис. 2. Зависимость концентрации парамагнитных центров I_2 от температуры вакуумного прогрева: α — до УФ-освещения, β — после УФ-освещения, γ — вакуумный отжиг УФ-облученного образца

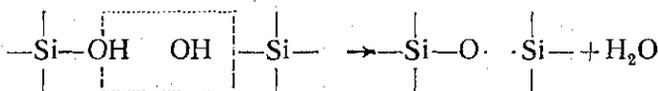
лы Si (n -типа, $\rho = 1000 \text{ Ом} \cdot \text{см}$). В дальнейшем образцы окислялись в кислороде при $T = 1000\text{—}1100^\circ\text{C}$ в течение 4 ч. Далее образцы освещались ксеноновой лампой ДКСШ-1000 при непрерывном вращении кварцевой ампулы с образцом. Все эксперименты проводились в вакууме не хуже, чем 10^{-6} мм рт. ст.

Было обнаружено, что окисление кремния приводит к возникновению двух сигналов ЭПР I_1 и I_2 (рис. 1), параметры которых близки к параметрам сигналов, обнаруженных в работе [2]. Сигналы I_1 и I_2 легко насыщались при микроволновых мощностях ~ 1 мВт. Вакуумные прогревы не изменяли интенсивности сигнала I_1 и немного увеличивали интенсивность сигнала I_2 (рис. 2, α). УФ-облучение исходного окисленного Si не приводило к изменениям сигналов I_1 и I_2 или возникновению новых сигналов. В отличие от этого УФ-облучение прогретых в вакууме образцов сопровождалось существенным возрастанием сигнала I_2 , причем интенсивность сигнала зависела от температуры вакуумирования (рис. 2, β) (интенсивность сигнала I_1 после УФ-облучения не изменялась). Как видно из рис. 2, γ , вакуумные прогревы предварительно освещенного образца вызывают уменьшение сигнала I_2 до исходного уровня. Многократное чередование вакуумных прогревов и УФ-облучения приводило к обратимым изменениям сигнала I_2 .

Параметры сигналов I_1 и I_2 (g -фактор, ширина линии и СВЧ-мощность, при которой происходит насыщение) хорошо совпадают с соответствующими характеристиками сигналов от E'_1 - и E'_2 -центров в кварцевых и германиевых стеклах, подвергнутых высокоэнергетичному облучению [3, 4]. В настоящее время можно считать установленным, что за сигнал E'_1 ответственны кислородные вакансии [5], тогда как сигнал E'_2 предположительно связан с комплексом кислородная вакансия+кислород в междоузлии.

Для определения области локализации парамагнитных центров производилось травление предварительно освещенных образцов в HF. Обнаружено, что интенсивность сигнала I_2 уменьшается в 5—6 раз, а I_1 изменяется незначительно. Травление в травителе типа CP полностью уничтожало оба сигнала. Отсюда можно сделать следующие качественные выводы. Значительная часть центров I_2 локализована в слое окисла (центры I_2^0); эта группа центров исчезает при растворении SiO_2 в HF. Практически все центры I_1 и небольшая часть центров I_2 (центры I_2^+) расположены в непосредственной близости к границе раздела Si—SiO_2 ; эта группа центров исчезает только после травления кремния. Существование кислородных вакансий (I_1 -центры) и комплексов вакансия+кислород (I_2^+ -центры) в переходном слое Si—SiO_2 хорошо согласуется с многочисленными данными электронной спектроскопии (например [6]), согласно которым этот слой состоит из групп SiO_x , где $x < 2$. УФ-освещение не изменяет интенсивности сигналов I_1 и I_2^+ . По-видимому, энергетическое положение этих центров таково, что в исходном состоянии они положительно заряжены и парамагнитны.

Иначе ведут себя I_2^0 -центры. УФ-облучение прогретых в вакууме образцов приводит к значительному росту сигнала I_2 . По-видимому, это связано с тем, что локализованные в окисле I_2^0 -центры отличаются по своему энергетическому положению от тех же центров, локализованных вблизи границы раздела (I_2^+). До освещения центры I_2^0 нейтральны и непарамагнитны. Инжекция генерируемых УФ-освещением дырок из Si в SiO_2 [7] переводит эти центры в положительно заряженное парамагнитное состояние. На тот факт, что при освещении происходит только перезарядка уже имеющихся состояний, а не генерация новых дефектов (или фотохимическая реакция), указывает обратимость изменения I_2^0 относительно циклов отжиг — повторное освещение. Как видно из рис. 2, б, фотоактивные центры I_2^0 возникают в окисле только после вакуумных прогревов. Это может быть связано с дегидратацией Si—SiO_2 , например, по следующей схеме:



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Karjagin S. N., Kashkarov P. K., Kiselev V. F., Kozlov S. N.—Phys. Stat. Sol.(a), 1976, 37, p. 17. [2] Kropman D., Sugis A., Winnal M.—Phys. Stat. Sol.(a), 1977, 44, p. 1. [3] Weeks R. A.—J. Appl. Phys., 1956, 27, p. 1376. [4] Garlick C. F. J., Nichols J. E., Over A. M.—J. Phys. C. Solid State Phys., 1971, 4, p. 650. [5] Feigl F. L., Fowler W. B., Lip K. J. Solid State Comm., 1974, 14, p. 225. [6] Ishizaka A., Iwata S., Kamigaki Y.—Surface Science, 1979, 84, p. 225. [7] Козлов С. Н., Кузнецов С. Н.—Физ. и техн. полупроводников, 1978, 12, с. 1680.