

Литература

1. Кашкаров П.К., Киселев В.Ф., Матвеев В.А. // Поверхность. Физика, химия, механика. 1986. №4. С.50.
2. Kiselev V.F., Krylov O.V. // Electronic Phenomena in Adsorption and Catalysis. N.Y.; Heidelberg, 1987. P.278.
3. Lee J., Robinson G.W., Bassez M.-P. // J. Am. Chem. Soc. 1986. 108. P.7477.
4. Зайцев В.Б., Киселев В.Ф., Ольшанский Д.И., Плотников Г.С. // Хим. физика. 1995. 14, №5. С.51.
5. Kiselev V.F., Krylov O.V. Adsorption Processes on Semiconductor and Dielectric Surfaces. Berlin, 1985. P.287.
6. Grinev V.I., Kiselev V.F. // Phys. Stat. Solidi (a). 1981. 66. P.493.
7. Балагуров В.Я., Вакс В.Г. // ЖЭТФ. 1973. 65. С.1939.
8. Кашкаров П.К., Козлов С.Н. // Микроэлектроника. 1976. 5, №5. С.535.
9. Винценц С.В., Киселев В.Ф., Левшин Л.В. et al. // ДАН. 1984. 274, №1. С.96.

Поступила в редакцию
24.06.96

УДК 621.315.592

ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПЛЕНКАХ α -Si:H ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

И.А.Курова, Н.Н.Ормонт, Д.В.Сенашенко

(кафедра физики полупроводников)

Исследована кинетика изменения темновой проводимости (σ_d) высокоомных пленок α -Si:H во время и после их освещения при повышенных температурах ($T > 120$ °C). Установлено, что $\sigma_d(t)$ изменяется немонотонно: во время освещения вначале уменьшается, а затем возрастает; после освещения сначала возрастает до величины больше равновесной, затем медленно уменьшается до равновесного значения. Показано, что временные зависимости релаксации σ_d можно описать суммой двух растянутых экспонент, параметры которых τ и β различны. Обсуждается природа немонотонных изменений $\sigma_d(t)$.

Исследования изменения параметров пленок α -Si:H под действием света, тепла, электрических полей проводятся с 1977 г., когда был открыт эффект Стеблера-Вронского – уменьшения проводимости пленок α -Si:H под действием света [1]. Эти исследования актуальны и в настоящее время, так как микроскопическая модель этих изменений не ясна до сих пор.

В настоящей работе исследовалась кинетика изменения темновой проводимости (σ_d) во время освещения нелегированных пленок α -Si:H при температурах выше комнатной и кинетика релаксации σ_d при этих же температурах после выключения света. До сих пор такие исследования в нелегированных пленках α -Si:H проводились в основном при температурах вблизи комнатных и ниже [2,3], когда все процессы (в частности, релаксация) идут медленно и измерение их кинетики требует много времени. В настоящей работе измерения проводились при температурах $T > 120$ °C. Исследовались нелегированные пленки α -Si:H n -типа и слабо легированные бором. Последние являются фактически компенсированными высокоомными пленками, с уровнем Ферми вблизи середины запрещенной зоны при низких температурах; такие высокоомные слои используются для создания i -слоев в pin и более сложных структурах.

Пленки были выращены методом осаждения в тлеющем ВЧ-разряде на кварцевых подложках с температурой $T_s = 250$ – 300 °C. Характеристики типичных исследованных пленок приведены в таблице, где N_B – концентрация бора, d – толщина пленки, T_s , °C – температура подложки при росте

пленки, C_H – полная концентрация водорода, определенная методом ИК-спектроскопии, E_d и σ_0 – энергия активации и предэкспоненциальный множитель для темновой проводимости пленок, вычисленные по зависимости $\sigma_d(T)$, измеренной при медленном охлаждении пленки после отжига при 190 °C (σ_d – значение темновой проводимости при $T = 290$ K), k – коэффициент фоточувствительности, равный отношению фото- к темновой проводимости. Пленки освещались галогенной лампой. Интенсивность излучения менялась с помощью нейтральных фильтров.

№	N_B , см ⁻³	d , мкм	T_s , °C	C_H , ат.%	σ_0 , Ом ⁻¹ ·см ⁻¹	σ_d , Ом ⁻¹ ·см ⁻¹ , $T=290$ К	$k=\sigma_{ph}/\sigma_d$, $T=290$ К	E_d , эВ
1		1	250	8	$1,7 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^5$	0,74
2	$1 \cdot 10^{17}$	1	290	7	$1,0 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^{-10}$	$9 \cdot 10^4$	0,83
3	$2 \cdot 10^{17}$	4	290	7	$1,5 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^5$	0,85

На рис. 1 показана кинетика изменения приведенной темновой проводимости $\sigma_d^*(t_{ill}) = \sigma_d(t_{ill})/\sigma_{d0}$ (где σ_{d0} – равновесная темновая проводимость при температуре освещения, а t_{ill} – время освещения пленки) нелегированной пленки 1 при освещении (кривая 1) ($W = 90$ мВт/см², $T = 185$ °C). Приведены также зависимости $\sigma_d^*(t)$ пленки 1 после ее освещения с разной выдержкой (кривые 2–4). Видно, что изменение σ_d^* при освещении пленки немонотонно: вначале происходит падение, затем возрастание σ_d^* . Релаксация σ_d^* после освещения пленки для всех значений t_{ill} также немонотонна:

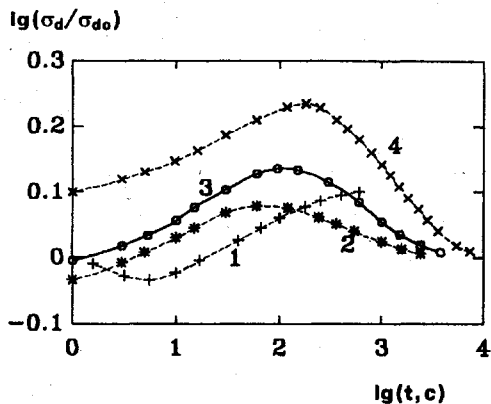


Рис. 1. Временные зависимости приведенной темновой проводимости пленки 1 при освещении ее (1) и после освещения в течение 5 (2), 15 (3) и 600 с (4) ($T=185^{\circ}\text{C}$, $W=90\text{ мВт/см}^2$)

сначала идет возрастание проводимости до значения выше равновесного и затем падение до равновесной величины. Сравнение кривых 2-4 показывает, что времена обоих процессов релаксации возрастают с увеличением длительности освещения. Отметим, что при температурах вблизи комнатных наблюдается только один процесс - уменьшение σ_d^* при освещении и монотонное возрастание до равновесной величины после освещения.

Для компенсированных пленок 2 и 3 наблюдались аналогичные немонотонные изменения σ_d во время и после освещения. Однако все процессы в них происходили быстрее. На рис. 2 показана релаксация темновой проводимости пленок 1, 2 и 3 после освещения их в течение 15 с ($T=133^{\circ}\text{C}$, $W=90\text{ мВт/см}^2$). Видно, что времена релаксации наибольшие в пленке 1, наименьшие - в пленке 3. Релаксация в пленке 3 настолько быстрая, что в исследованном интервале времени практически не виден начальный процесс, сопровождающийся увеличением σ_d .

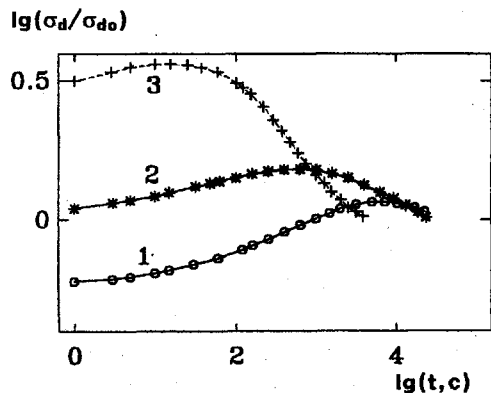


Рис. 2. Релаксация приведенной темновой проводимости пленок 1, 2, 3 (кривые 1-3) после их освещения в течение 15 с ($T=133^{\circ}\text{C}$, $W=90\text{ мВт/см}^2$)

Монотонные релаксации фотоиндуцированных метастабильных состояний (ФМС) в пленках $\alpha\text{-Si:H}$ в ряде работ [4, 5] описывались растянутыми экспонентами:

$$N(t) = N(0) \cdot \exp[-(t/\tau)^{\beta}], \quad (1)$$

где

$$\tau = (v^{-1}) \cdot \exp(\Delta E/kT), \quad (2)$$

$N(0)$, $N(t)$ - концентрации ФМС в начальный момент и в процессе релаксации, ΔE - энергия активации, v - частота попыток релаксации.

Мы измеряли изменение темновой проводимости пленок, вызванное образованием ФМС во время освещения и релаксацией их после освещения. Логарифм σ_d^* - отношения $\sigma_d(t)/\sigma_{d0}$ - в предположении, что плотность состояний вблизи уровня Ферми F не изменяется, пропорционален $\Delta E_F(t) \approx N(t)$. Поэтому немонотонную релаксацию $\sigma_d^*(t)$ мы представляли суммой двух растянутых экспонент. Нахождение их параметров начиналось с обработки конечного (2-го) процесса - уменьшения σ_d^* . При этом предполагалось, что начальный процесс релаксации при $t > t_{\max}$ (где t_{\max} - время достижения наибольшего значения $\sigma_d^*(t)$) закончился. Затем, зная параметры одной экспоненты, мы определяли параметры другой, описывающей начальный (1-й) процесс релаксации - увеличение σ_d^* со временем.

На рис. 3 показаны температурные зависимости параметров релаксации τ_1, τ_2 и β_1, β_2 для пленки 1 после ее освещения в течение 15 с (кривые 1 и 2 относятся соответственно к начальному и конечному процессам релаксации).

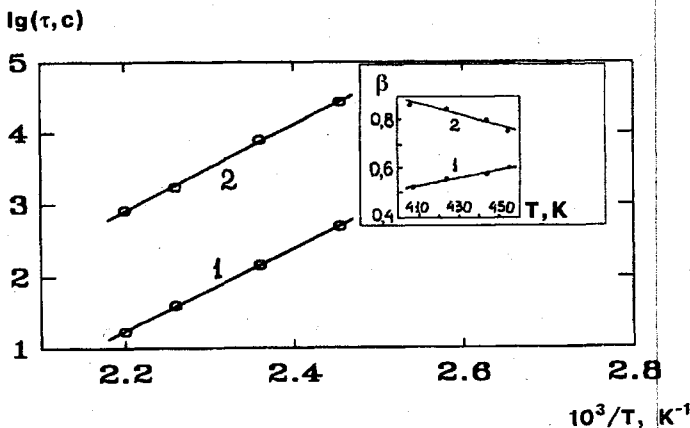


Рис. 3. Температурные зависимости параметров τ_1, β_1 (кривые 1) и τ_2, β_2 (кривые 2) двух растянутых экспонент, описывающих немонотонную релаксацию приведенной темновой проводимости для пленки 1 после ее освещения в течение 15 с с интенсивностью $W=90\text{ мВт/см}^2$

Видно, что τ_1 и τ_2 экспоненциально зависят от температуры. Энергии их активации несколько отличаются: $E_1=1,14\text{ эВ}$ и $E_2=1,21\text{ эВ}$ и согласно соотношению (2) $v_1=2 \cdot 10^{11}\text{ с}^{-1}$ и $v_2=3 \cdot 10^{10}\text{ с}^{-1}$.

На рис. 3 показаны также температурные зависимости β_1 и β_2 . Видно, что β_1 линейно увеличивается с температурой, β_2 линейно уменьшается. Увеличение β_1 с температурой наблюдалось в работе [4] при релаксации фотоиндуцированных метастабильных оборванных связей кремния. По-видимому, этот процесс и в наших пленках определяет

начальный участок релаксации. Уменьшение β_2 с увеличением температуры наблюдалось в работе [6] при релаксации термически индуцированных метастабильных состояний, т.е. состояний, "замороженных" при быстром охлаждении пленок. В работе [6] исследовались пленки, осажденные при низких температурах ($T_s = 100$ °C) и имеющие большое количество пор. Авторы связывают аномальную зависимость $\beta(T)$ с процессами на поверхности пор. Исследованные нами пленки были выращены при высокой температуре (см. таблицу). В этих условиях пор образуется мало. Малая концентрация $(\text{SiH})_n$ связей, характеризующих количество пор, подтверждается данными ИК-спектроскопии наших пленок. Поэтому мы не связываем конечный процесс релаксации со структурными реконструкциями на поверхности пор. Мы предполагаем, что наблюдаемые немонотонные изменения темновой проводимости при освещении и соответственно немонотонная релаксация ее после освещения не связаны с процессами на поверхности [7], а обусловлены объемными свойствами пленок. Основанием для этого служат наблюдаемые закономерности эффекта: немонотонный характер изменения темновой проводимости и немонотонная релаксация ее наблюдаются как в нелегированных пленках n -типа, так и в легированных бором; наибольшая амплитуда второго процесса наблюдается в пленке большой толщины.

Возможно, что аномальное возрастание σ_d при освещении и конечная ее релаксация после освещения определяются процессами на границах микрообластей с разными свойствами в объеме пленок,

т.е. в областях структурной неоднородности или неоднородного распределения водорода и примесей. Тогда исследование релаксации σ_d после освещения пленок $\alpha\text{-Si:H}$ при высокой температуре может служить методом идентификации таких неоднородностей.

Можно также предположить, что концентрация электрически активных атомов примеси в исследованных пленках увеличивается в результате освещения их при повышенных температурах, причем примесями могут быть и неконтролируемые, присутствующие в нелегированных пленках и концентрирующиеся на границах неоднородностей. Очевидно, что для понимания природы обнаруженных эффектов необходимы дальнейшие исследования, использующие методики детального изучения структуры пленок $\alpha\text{-Si:H}$.

Настоящая работа поддержана научно-техническими программами "Университеты России" и Госкомвуза РФ в области фундаментального естествознания (грант 95-0-71-153).

Литература

1. Stabler D.L., Wronski C.R. // Appl. Phys. Lett. 1977. 31. P.292.
2. Eser E. // J. Appl. Phys. 1986. 59. P.3508.
3. Stradins P., Fritzsche H. // Phys. Rev. 1987. В 36. P.9378.
4. Street R. A. // Solar Cells. 1988. 24. P.211.
5. Jackson B., Kakalios S. // Phys. Rev. 1988. В 3. P.1020.
6. Takeda K., Hikita H., Kimura Y., Yokomichi H., Morigaki K. // J. Non-Cryst. Sol. 1996. 198-200. P.486.
7. Aker B., Fritzsche H. // J. Appl. Phys. 1983. 54. P.6628.

Поступила в редакцию
05.07.96

УДК 669.017.3:533.77

ЯВЛЕНИЕ ВОСХОДЯЩЕЙ ДИФфуЗИИ В НАСЫЩАЕМЫХ ВОДОРОДОМ СПЛАВАХ ПАЛЛАДИЙ-САМАРИЙ

Г.П.Ревкевич, М.К.Миткова, А.А.Кацнельсон

(кафедра физики твердого тела)

Изучено изменение рентгеновской дифракционной картины для сплава Pd-4,5 ат.% Sm при насыщении его водородом. Обнаружено существование восходящей диффузии атомов самария, обусловленной большим, чем для палладия, химическим сродством к водороду.

В последние годы водород все чаще рассматривается как элемент, который может быть использован для улучшения структурно-чувствительных свойств ряда металлических сплавов. В связи с этим возрастает интерес к изучению влияния водорода на атомное распределение в сплавах. Сплавы палладия в этом ряду занимают особое место, поскольку в палладии растворяется очень большое количество водорода. Очевидно, что влияние водорода на атомное распределение будет определяться особенностями взаимодействия его не только с палладием, но и со вторым компонентом сплава. Спла-

вы Pd-Sm интересны тем, что самарий и водород образуют гидрид Sm-H_2 [1]. Кроме того, сплавы Pd-Sm могут иметь широкое практическое применение в качестве диффузионных мембран, а также как катализаторы, поскольку они обладают высокой пластичностью, прочностью и водородопроницаемостью [2].

Настоящая работа была выполнена с целью выяснения влияния водорода на атомное распределение в сплавах палладий-самарий.