

НАСЫЩЕНИЕ ФОТОПРОВОДИМОСТИ И ОСОБЕННОСТИ АННИГИЛЯЦИИ ФОТОСТИМУЛИРОВАННЫХ ДЕФЕКТОВ В НЕЛЕГИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ α -Si : H

Звягин И. П., Курова И. А., Мелешко Н. В., Ормонт Н. Н.

Исследованы зависимости стационарной фотопроводимости σ_s в нелегированных пленках α -Si : H от температуры и интенсивности освещения. Обсуждены механизмы образования и аннигиляции фотоиндуцированных оборванных связей, определяющие наблюдаемые особенности поведения σ_s .

Как известно, в аморфном гидрированном кремнии (α -Si : H) исследованы кинетики фотоиндуцированного образования оборванных связей (ОС), например, с помощью изменений фотопроводимости (ФП) дает информацию о механизмах фотоиндуцированной деградации материала [1, 2]. При температурах, превышающих комнатную, при больших временах обычно наблюдается насыщение концентрации фотоиндуцированных дефектов, связанное с их аннигиляцией (отжигом). Исследование зависимости концентрации дефектов в области насыщения N_s (или соответствующей этой области ФП σ_s) от температуры и интенсивности также позволяет получить информацию о механизмах генерации и аннигиляции дефектов в освещаемом образце.

Нами проводились исследования зависимости ФП σ_s для нелегированных пленок α -Si : H от температуры и интенсивности освещения. Далее приводятся данные для одной из типичных пленок, которая после отжига характеризовалась энергией активации темновой проводимости, равной 0.77 эВ, и предэкспоненциальным множителем $\sim 10^3 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$; после предварительного освещения при комнатной температуре параметры изменялись до 0.87 эВ и $2 \cdot 10^4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ соответственно. Во всем исследованном интервале температур и интенсивностей люкс-амперные характеристики были близки к линейным.

Величина σ_s оказывается характеристикой образца, не зависящей от его начального состояния. На рис. 1 показано изменение ФП пленки при длительном освещении ее белым светом (100 мВт/см^2) при 380 К после отжига (кривая 1), а также после модификации пленки путем предварительного освещения при температуре 295 К в течение 2.5 ч (кривая 2) и 9 ч (кривая 3), приводящее к изменению начальной концентрации ОС [3]. Видно, что для разных исходных состояний значения σ_s совпадают.

На рис. 2 представлена зависимость σ_s от интенсивности света W , создающего ОС, при различных температурах. Эта зависимость неплохо описывается соотношением $\sigma_s \sim W^\gamma$, где параметр $\gamma \approx 0.5$. Наконец, температурная зависимость σ_s , изображенная на рис. 3, является активационной, причем энергии активации $E_s = 0.25 \text{ эВ}$.

При интерпретации полученных результатов будем, как и раньше, считать что $n \sim W/N$, т. е. что ФП

$$\sigma_\phi = AW/N, \quad (1)$$

где N — концентрация ОС, W — интенсивность света, A — коэффициент, слабо зависящий от N . Этого приближения, по-видимому, достаточно для описания

процесса дефектообразования в нелегированных пленках $a\text{-Si} : \text{H}$ [1]. Уравнение кинетики образования дефектов можно представить в виде

$$\frac{dN}{dt} = \sum_m \frac{C_m W^m}{N^m} - \sum_p B_p N^p, \quad (2)$$

где $m, p=1, 2$; C_m и B_p — коэффициенты, слабо зависящие от N . Первая сумма в правой части описывает процессы фотоиндуцированного образования ОС, жорость которых пропорциональна темпу захвата носителей, т. е. n или p ($m=1$), или темпу их рекомбинации, т. е. np ($m=2$).

Вторая сумма в (2) описывает процессы аннигиляции. Считая, что образование, равно как и утжиг ОС, определяется лишь одним из процессов (2) в области насыщения ФП, для стационарной концентрации ОС N_s получаем

$$N_s = \left(\frac{C_m}{B_p} \right)^{\frac{1}{p+m}} \frac{W^m}{W^{p+m}}. \quad (3)$$

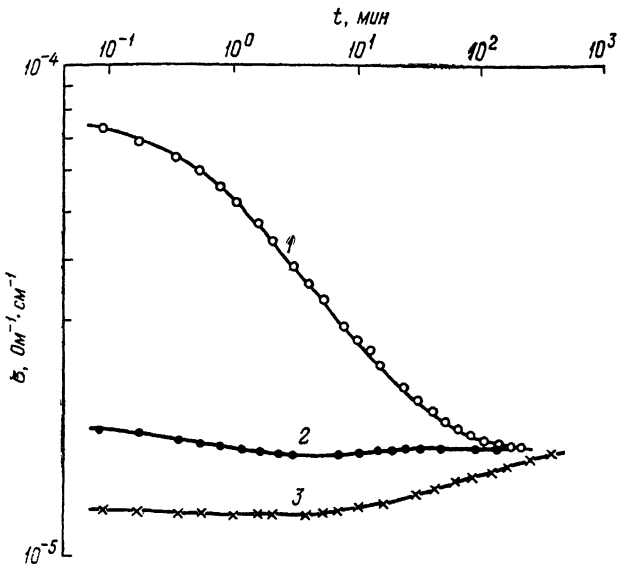


Рис. 1. Кинетика изменения приведенной фотопроводности нелегированной пленки $a\text{-Si} : \text{H}$ [$\sigma_s(t)/\sigma_{sp}(0)$] при $T=380$ К и различной предыстории пленки.

1 — после отжига; после освещения при $T=295$ К в течение времени, мин: 2 — 150, 3 — 540.

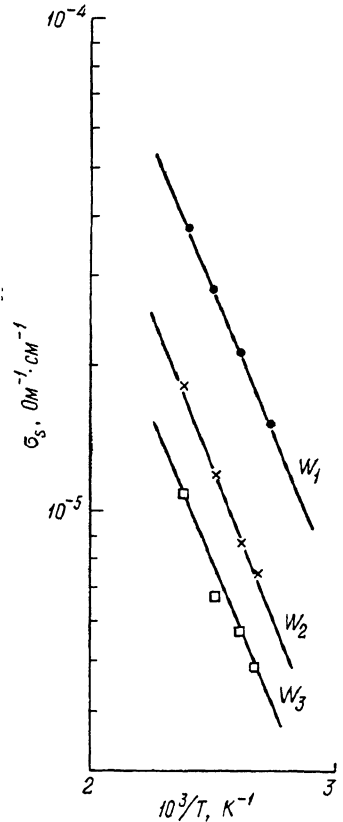


Рис. 2. Температурная зависимость σ_s нелегированной пленки $a\text{-Si} : \text{H}$ при разных интенсивностях освещения.

$W_1=5W_2=18W_3$; $E_s=0.25$ эВ.

Из данных, приведенных на рис. 2 и 3, видно, что $\sigma_s \sim \exp(-E_s/kT)W^\gamma$, и для N_s из (1) имеем

$$N_s \sim \exp(E_s/kT)W^{1-\gamma}. \quad (4)$$

Если принять, что доминирует термическая аннигиляция ОС, т. е. B_p не зависит от интенсивности освещения, то, сравнивая (3) и (4), находим $m/(p+m)=1-\gamma=0.5$. Отсюда следует, что либо $m=p=1$, либо $m=p=2$.

В условиях насыщения ФП процесс генерации ОС в нелегированных пленках, по-видимому, является бимолекулярным ($m=2$). На это указывает тот факт, что в них после длительного предварительного освещения при повышенных температурах до насыщения ФП процесс генерации ОС хорошо описывается уравнением кинетики с $m=2$ [4]. Поскольку при этом температурная зависимость коэффициента C_m слабая [4], из (3) и (4) следует, что температурная зависимость N_s определяется температурной зависимостью коэффициента B_p . Таким образом,

получаем, что $B_p \sim \exp[-(m+p)E_a/kT]$ и при $m=2$, $p=2$ энергия активации скорости температурного отжига $E_a=1$ эВ. Эта энергия близка к энергии активации коэффициента диффузии водорода. Последнее указывает на то, что движение ОС обусловлено переключением ОС с участием водорода в соответствии с предположениями работы [5].

Существует альтернативная возможность объяснения наблюдавшейся нам зависимости σ_s от интенсивности освещения. В работе [6] было высказано предположение о том, что фотоиндуцированная аннигиляция ОС может играть существенную роль. Считая, что процесс обусловлен захватом фотоносителя с исчезновением одной или двух ОС, т. е. что коэффициент B пропорционален n или p , мы можем положить $B_p N^p = BW N^{p-1}$. Соответственно вместо (3) найдем

$$N_s = \left(\frac{C_m}{B_p} \right)^{\frac{1}{m+p-1}} W^{\frac{m-1}{m+p-1}}. \quad (6)$$

Показатель $(m-1)/(m+p-1)$ равен 0.5 при $m=2$, $p=1$. Энергия активации процесса в этом случае составляет $E_a = (m+p-1)E_s = 0.5$ эВ. Значение $p=1$ могло бы соответствовать близнецовой аннигиляции пары ОС при захвате на них носителя

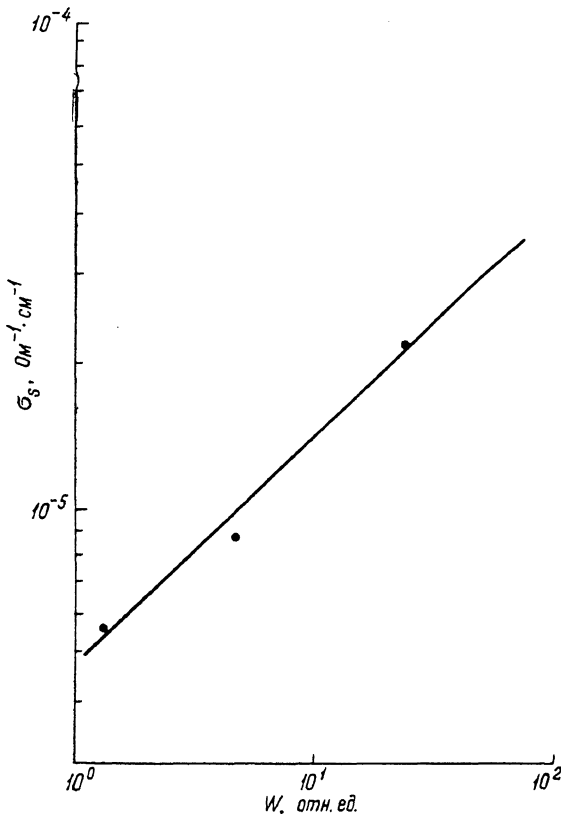


Рис. 3. Зависимость фотопроводимости σ_s при $T=385$ К от интенсивности освещения ($\gamma=0.48$).

Однако значения энергии активации, близкие к 1 эВ, наблюдавшиеся для отжига дефектов в отсутствие освещения [1, 7], по-видимому, указывают на то, что в исследованной области температур ($T > 340$ К) аннигиляция дефектов при освещении в основном определяется их термическим отжигом.

Таким образом, в работе установлено, что отжиг фотоиндуцированных ОС в нелегированных пленках при $T > 350$ К и условиях освещения является термическим, бимолекулярным процессом, скорость которого экспоненциально зависит от температуры с энергией активации ≈ 1 эВ.

Список литературы

- [1] Stutzmann M., Jackson W. B., Tsai C. C. // Phys. Rev. B. 1985. V. 32. N 1. P. 23—46.
- [2] Eser E. // J. Appl. Phys. 1986. V. 59. N 10. P. 3508—3515.
- [3] Dersch H., Schweitzer L., Stuke J. // Phys. Rev. B. 1983. V. 28. P. 4678—4683.
- [4] Звягин И. П., Курова И. А., Мелешко Н. В., Ормонт Н. Н. // Вестн. МГУ. Сер. 3. Физика. 1990. Т. 31. В. 6. С. 362—364.
- [5] Kakalios J., Jackson W. B. // Amorphous Silicon and Related Materials / Ed. by H. Fritzsche. Singapore, 1989. P. 207—246.
- [6] Redfield D., Bube R. H. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 54. N 11. P. 1037—1039.
- [7] Stutzmann M., Jackson W. B., Tsai C. C. // Phys. Rev. B. 1986. V. 34. N 1. P. 63—72.