

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПЛЕНОК α -Si : H НА ИЗЛУЧАТЕЛЬНУЮ РЕКОМБИНАЦИЮ

Атаев Ж., Васильев В. А., Волков А. С.,
Коньков О. И., Теруков Е. И.

Исследованы основные характеристики стационарной фотолюминесценции в пленках α -Si : H, приготовленных разложением силан-аргоновой смеси ($m\text{SiH}_4 - (100-m)\text{Ar}$) в ВЧ тлеющем разряде, в зависимости от величины m и средней мощности разряда P .

Установлены корреляция между квантовой эффективностью излучательной рекомбинации, положением максимума и полушириной спектра излучения, константой, характеризующей температурное гашение люминесценции, и содержанием водорода в пленках.

На основании анализа полученных данных сделан вывод о том, что изготовленные при $m = 40-60\%$ и $P \leq 0.3$ Вт/см² пленки обладают наименьшей дефектностью и минимальной плотностью протяженности хвостов локализованных состояний в щели подвижности.

Процессы переноса и рекомбинации носителей заряда в аморфном гидрогенизированном кремнии (α -Si : H), полученном разложением смеси ($\text{SiH}_4 - \text{Ar}$) в тлеющем ВЧ разряде, определяются распределением и плотностью локализованных состояний в щели подвижности (E_0), что в свою очередь тесно связано с условиями приготовления пленок: составом атмосферы смеси газов, давлением, мощностью ВЧ разряда, температурой подложки и т. д. [1-5]. Получение высококачественных пленок требует отработки режимов их технологии, что с учетом многопараметричности задачи представляет известные трудности. Задача контроля качества пленок может быть существенно упрощена при использовании безконтактных фотолюминесцентных (ФЛ) методов. Известно, что этот метод успешно применяется для исследования процессов рекомбинации носителей заряда в α -Si : H [4-6].

В настоящей статье приводятся результаты исследования ряда характеристик ФЛ пленок α -Si : H, таких как интенсивность ФЛ, спектры излучения и температурная зависимость интенсивности ФЛ, с целью установления корреляции между процессом излучательной рекомбинации и технологическими условиями получения пленок, а именно составом смеси газов и мощностью ВЧ тлеющего разряда. Полученные результаты дополняют и расширяют данные литературы по указанному вопросу.

Пленки α -Si : H толщиной $d \sim 1$ мкм получались путем разложения силан-аргоновой ($m\text{SiH}_4 - (100-m)\text{Ar}$) смеси в ВЧ тлеющем разряде, причем процентное содержание $m\text{SiH}_4$ в Ar составляло от 5.0 до 100%. Средняя мощность ВЧ тлеющего разряда P варьировалась от 0.3 до 1.5 Вт/см². Осаждение пленок проводилось на кварцевые подложки с шероховатой поверхностью, температура которых в процессе осаждения составляла $T_s = 250$ °С. Характеристики стационарной ФЛ измерялись по стандартной методике в диапазоне $T = 77-300$ К. ФЛ возбуждалась одной из линий Ar^+ -лазера с $\hbar\omega_{\text{ex}} = 2.54$ эВ, что соответствовало оптическим переходам зона-зона с коэффициентом поглощения $\alpha > 10^5$ см⁻¹.

Нормированные спектры излучения для α -Si : H с различными величинами m и P представлены на рис. 1, а, б. Основные характеристики спектров излучения — интенсивность ФЛ (I), энергетическое положение максимума (E_m) и полуширина спектра (Δ), как видно, зависят от величин m и P . По мере увели-

чения m ($P=0.3$ Вт/см²) E_m сдвигается в область высоких энергий, а Δ уменьшается. Интенсивность ФЛ имеет сложную зависимость: сначала растет, достигает максимума при $m=60$, а затем уменьшается (рис. 2, $a-e$). При увеличении P до 1.5 Вт/см² для $m=5$ % спектр излучения сдвигается в область высоких энергий и значительно уширяется $\Delta=0.47$ эВ, при этом уменьшается интенсивность ФЛ. На рис. 3 представлены результаты изучения интегральной интенсивности ФЛ от температуры для образцов с различными величинами m и $P=0.3$ Вт/см², построенными в координатах $\lg I$ от T (1-3) и $\lg I$ от T^{-1} ($a-e$). Анализ данных $I(T)$ показывает, что если пользоваться, согласно [4], аппроксимацией

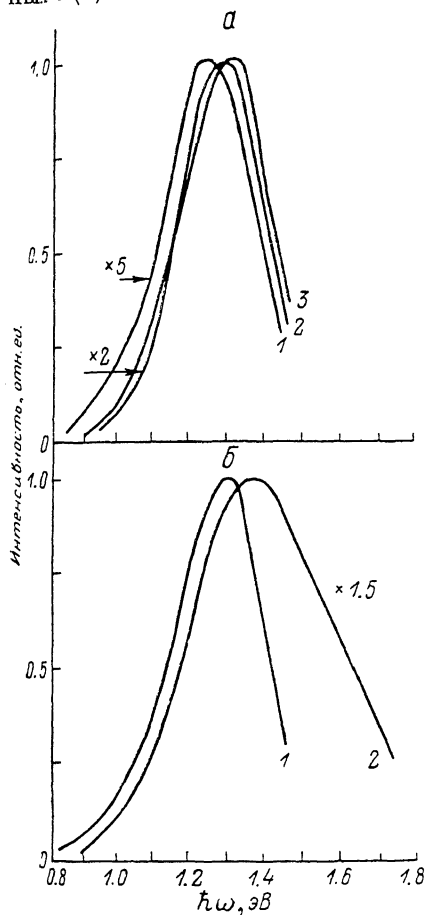


Рис. 1. Нормированные спектры ФЛ пленок $a\text{-Si}:\text{H}$ ($T=77$ К).

a) m , %: 1 — 5.0, 2 — 60, 3 — 100 ($P=0.3$ Вт/см²); b) P , Вт/см²: 1 — 0.3, 2 — 1.5 ($m=5$ %).

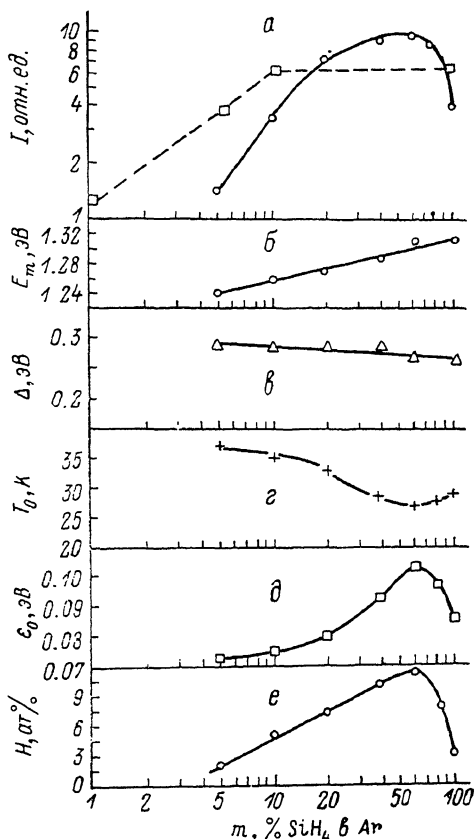


Рис. 2. Основные характеристики ФЛ $a\text{-Si}:\text{H}$ в зависимости от m для образцов, полученных при мощности разряда $P=0.3$ Вт/см² ($a-d$), и концентрация водорода в пленках, определенная по ИК поглощению (e).

$I(T) \sim \exp(-T/T_0)$, то T_0 зависит от m в пределах 27—37 К. В то же время если аппроксимировать высокотемпературное затухание $I(T)$, согласно [6], как $I(T) \sim \exp(-\varepsilon_0/kT)$, то величина энергии активации ε_0 в зависимости от m изменяется в пределах 70—110 мэВ [зависимости $T_0(m)$ и $\varepsilon_0(m)$ приведены на рис. 2, d, ∂]. Зависимости основных характеристик ФЛ $a\text{-Si}:\text{H}$ от m для образцов, полученных при низкой мощности тлеющего разряда ($P=0.3$ Вт/см²), представлены на рис. 2. На рис. 2, a (штриховая кривая) приведена зависимость $I(m)$, согласно данным [4, 5], для $P=1.0$ Вт. На рис. 2, e представлена зависимость концентрации водорода в пленках от m , определенная по спектрам инфракрасного поглощения, и, как видно, эта зависимость имеет максимум при $m=60$ %, который соответствует концентрации водорода ~ 11 ат %.

Согласно [4-6], излучательные переходы в $a\text{-Si}:\text{H}$ при малых интенсивно-

стях возбуждения представляют собой переходы между носителями, захваченными на соответствующие локализованные состояния хвостов разрешенных зон и разделенными в среднем расстоянием $R_c = 7-10 R_0$, где R_0 — борковский радиус. Основные характеристики ФЛ, таким образом, дают информацию о плотности и распределении носителей заряда в локализованных состояниях. Так, чем больше E_m и меньше Δ , тем меньше энергетическая протяженность локализованных состояний в запрещенной зоне. Величины температурного гашения $I(T)$ T_0 и ϵ_0 также характеризуют протяженность локализованных состояний. Согласно [4], $T_0 = \omega_0/20k$, где ω_0 — характерная энергия протяженности локализованных состояний, и чем меньше T_0 , тем меньше ω_0 . Энергия активации

характеризует механизм убегания электрона от своей дырки к безызлучательному центру в процессе прыжковой диффузии по локализованным состояниям. В этом случае ϵ_0 должна быть пропорциональна градиенту плотности состояний $\epsilon_0 \sim 1/\omega_0$, поскольку чем больше градиент, тем более выгодно носителю заряда активироваться на энергетически более высоколежащие состояния.

Изменение $I(m)$ указывает на изменение соотношения вероятности излучательной и безызлучательной рекомбинаций, т. е. в зависимости от величины m при формировании пленки $a\text{-Si} : \text{H}$ меняются условия создания центров безызлучательной рекомбинации. Это, возможно, связано с концентрацией водорода

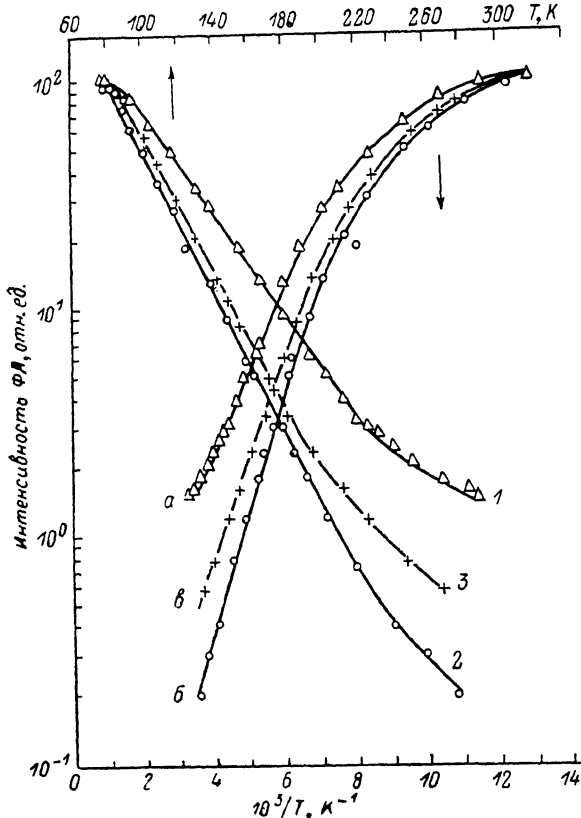


Рис. 3. Температурная зависимость интегральной интенсивности ФЛ в пленках $a\text{-Si} : \text{H}$. m , %: 1, а — 5,0; 2, б — 60; 3, в — 100.

в образцах, так как наблюдается корреляция между зависимостями $I(m)$ и $H(m)$, причем I_{\max} соответствует 11 ат% водорода и $m=60\%$ ($P=0.3 \text{ Вт/см}^2$). Это означает, что в области значений $m=40-60\%$ формируются пленки, обладающие минимальной плотностью локализованных состояний и минимальной дефектностью. При $m=5-20\%$ имеет место увеличение плотности локализованных состояний и вероятности безызлучательной рекомбинации, что также коррелирует с концентрацией водорода в пленках. При $m=100\%$ у пленок, полученных из чистого SiH_4 , уменьшение интенсивности ФЛ и водорода, вероятно, связано с тем, что в пленках образуются сложные комплексы типа SiH_2 , SiH_3 , которые изменяют вероятность излучательной рекомбинации, но слабо влияют на распределение носителей в хвостах локализованных состояний.

Таким образом, проведенные исследования показали, что пленки $a\text{-Si} : \text{H}$, полученные при малой мощности ВЧ тлеющего разряда ($P \leq 0.3 \text{ Вт/см}^2$) и $m=40-60\%$, характеризуются наиболее высокими параметрами — минимальной протяженностью хвостов плотности состояний и наименьшей концентрацией дефектов, которые создают уровни безызлучательной рекомбинации. Изменение соотношения содержания в смеси газов SiH_4 и Ar приводит к увеличению ве-

роятности безызлучательных процессов, уменьшению содержания водорода и более протяженным хвостам локализованных состояний соответствующих разрешенных зон.

Авторы приносят признательность В. Х. Кудояровой за предоставление данных по ИК поглощению.

Список литературы

- [1] Fritzsche H. // Sol. Energy Mater. 1980. V. 3. P. 447—501.
- [2] Carlson D. E. // Sol. Energy Mater. 1980. V. 3. P. 503—518.
- [3] Голикова О. А., Домашевская Э. П., Казанин М. М., Кудоярова В. Х., Мездрогина М. М., Сорокина К. Л., Терехова В. А., Тростянский С. Н. // ФТП. 1989. Т. 23. В. 3. С. 450—455.
- [4] Street R. A. // Adv. Phys. 1981. V. 30. N 5. P. 593—676.
- [5] Street R. A., Knights J. C., Biegelsen D. K. // Phys. Rev. B. 1978. V. 18. N 5. P. 1880—1891.
- [6] Engemann D., Fischer R. // Phys. St. Sol. (b). 1977. V. 79. N 1. P. 195—202.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получена 13.07.1989
Принята к печати 4.11.1989