

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА a -Si : H, ЛЕГИРОВАННОГО АЗОТОМ

Айвазов А. А., Будагян Б. Г., Становов О. Н.

Представлены результаты исследования фотоэлектрических свойств легированных азотом пленок a -Si : H, полученных методом ВЧ разложения смеси силана и аммиака. Исследовано влияние легирования азотом на спектральные и температурные зависимости фотопроводимости a -Si : H. Установлено, что при легировании азотом (введением 2 об% NH_3 в газовую фазу) фотопроводимость a -Si : H не уменьшается, а стабильность материала возрастает. Анализируется природа метастабильных состояний в материале. Предполагается, что это — состояния типа D^- , являющиеся центрами рекомбинации для неравновесных носителей заряда.

Широкое применение гидрогенизированного аморфного кремния (a -Si : H) в различных типах фотоэлектрических приборов ограничивается термической нестабильностью этого материала. Особый интерес представляют сплавы a -Si : H с азотом в связи со значительным улучшением фотоэлектрических свойств [1] и стабилизацией его

оптических [2] и термодинамических характеристик [3]. Механизмы этих явлений могут быть частично объяснены путем исследования спектральных и температурных зависимостей фотопроводимости.

В данной работе проведены исследования фотоэлектрических свойств пленок a -Si : H, нанесенных методом ВЧ разложения смеси силана с водородом (10 % $SiH_4 +$

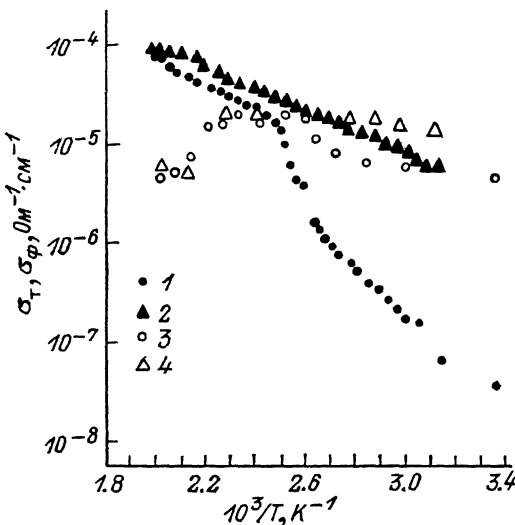


Рис. 1. Температурные зависимости темновой σ_T (1, 2) и фотопроводимости σ_ϕ (3, 4) для нелегированного a -Si : H. Режим: 1, 3 — нагрев, 2, 4 — охлаждение.

+90 % N_2) в плазме тлеющего разряда на стеклянную подложку. Плотность мощности разряда и температура подложек поддерживались на уровне 0.3 Вт/см^2 и 240°C соответственно. Пленки a -Si : N : H получали добавлением в реакционную смесь 2 и 6 об% NH_3 . После получения образцы подвергались отжигу при температуре 220°C и давлении 10^{-2} Па в течение 0.5 ч.

Измерение спектральных характеристик проводилось в диапазоне энергий фотонов $h\nu = 1.1 - 2.5 \text{ В}$. Интенсивность падающих фотонов составляла $(2 \div 6) \times 10^{15} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Исследование температурных зависимостей темновой и фотопроводимости при $h\nu = 1.96 \text{ эВ}$ проводилось в диапазоне температур $20 - 250^\circ\text{C}$. Напряженность электрического поля, прикладываемого к образцу, поддерживалась на уровне $2 \cdot 10^2 \text{ В/см}$. При измерении температурных зависимостей темновой σ_T и фотопроводимости σ_ϕ скорость нагрева образца поддерживалась на уровне 4 град/мин, скорость охлаждения — 8 град/мин.

На рис. 1 представлены результаты измерения температурных зависимо-

стей темновой и фотопроводимости нелегированного $a\text{-Si} : \text{H}$ в режимах нагрева и охлаждения. На зависимости темновой проводимости в области температур $100\text{--}215^\circ\text{C}$ наблюдалось отклонение от экспоненциальной зависимости. Температура $T_p \sim 215^\circ\text{C}$ выхода кривой $\lg \sigma_T(1/T)$ на участок экспоненциального роста определялась как температура начала измерения равновесных характеристик материала. Однако вследствие ограниченного диапазона температурных измерений более точно зафиксировать значение этой температуры для нелегированного образца не удалось. При скорости охлаждения $8^\circ\text{C}/\text{мин}$ происходило замораживание высокотемпературного состояния, что проявилось в разнице $\Delta\sigma_T^{300}$ значений проводимости, измеренных при комнатной температуре перед нагревом и после охлаждения образца. Релаксационные процессы в нелегированном $a\text{-Si} : \text{H}$ обнаружены также в работе [4], где температура выхода на равновесные характеристики составляла $\sim 200^\circ\text{C}$.

Температурные зависимости фотопроводимости, измеренные при нагреве и охлаждении, как видно из рис. 1, совпадают после $T = 110^\circ\text{C}$. Уменьшение фотопрово-

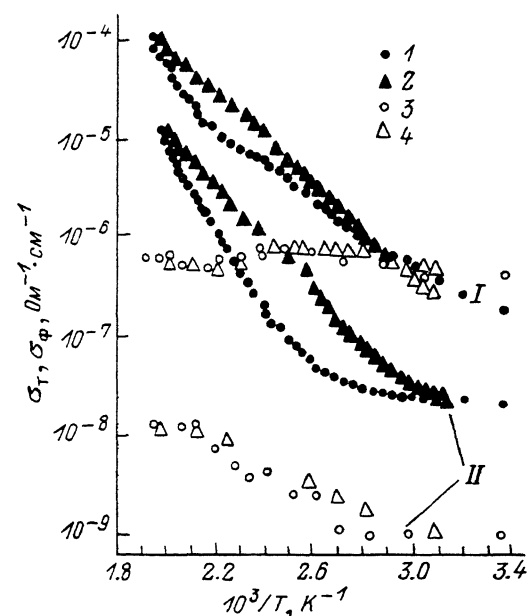


Рис. 2. Температурные зависимости темновой σ_T и фотопроводимости σ_ϕ для образцов $a\text{-Si} : \text{H}$, легированных азотом.

I, II — 2 и 6 об% NH_3 в газовой фазе соответственно. I—4 — то же, что и на рис. 1.

димости при температурах выше 90°C наблюдалось в работе [5], однако при более высоких температурах мы наблюдали рост фотопроводимости. Одинаковый ход фотопроводимости при нагреве и охлаждении свидетельствует об отсутствии необратимых изменений в материале. В отличие от хорошо известного эффекта температурного гашения фотопроводимости в $a\text{-Si} : \text{H}$ [6], фиксируемого при $T=250\text{ K}$, уменьшение фотопроводимости в наших измерениях наблюдается при более высоких температурах ($T=150\text{--}200^\circ\text{C}$). Большее значение фотопроводимости, полученное при охлаждении образца в области низких температур, по-видимому, также связано с процессами структурной релаксации.

На рис. 2 представлены результаты измерения температурных зависимостей σ_T и σ_ϕ для образцов $a\text{-Si} : \text{H}$, легированных азотом. Температуры T_p , определяемые из температурной зависимости σ_T , составляли 190 и 135°C для пленок, полученных при концентрации NH_3 в газовой фазе 2 и 6 об% соответственно. Таким образом, с увеличением уровня легирования область измерения равновесных характеристик смещается в сторону более низких температур. Из сравнения $\Delta\sigma_T^{300}$ для этих образцов видно, что время релаксационных процессов в легированных азотом образцах стало значительно меньше. Об этом также свидетельствует совпадение кривых $\lg \sigma_\phi(1/T)$ при нагреве и охлаждении. Как и в случае нелегированного образца, при температурах $\sim T_p$ также наблюдается падение фотопроводимости, однако величина этого падения значительно ниже.

На рис. 3 показаны спектральные зависимости фотопроводимости нелегированного $a\text{-Si} : \text{H}$ и $a\text{-Si} : \text{H}$, легированного азотом при концентрации NH_3 в газовой фазе 2 и 6 об%. Для уровня легирования 6 об% фотопроводимость надежно регистрировалась только в диапазоне энергий фотонов $h\nu=2.0\text{--}2.5\text{ эВ}$. Из рис. 3 видно, что на спектральной зависимости нелегированного образца при энергии $h\nu > 1.5\text{ эВ}$ наблюдается экспоненциальный рост фотопроводи-

ности, при энергии $h\nu=1.9$ эВ кривая выходит на насыщение. На спектральной зависимости σ_{ϕ} для слабо легированного образца $a\text{-Si}:\text{H}$ (2 об %) имеется максимум в области $h\nu=1.25\text{--}1.35$ эВ. Для образца, легированного азотом при концентрации NH_3 в газовой фазе 6 об%, наблюдается сдвиг кривой спектральной зависимости фотопроводимости в коротковолновую область. Уменьшение фототока в области коротких длин волн связывается с процессом поверхностной рекомбинации.

В исследуемой области температур σ_{ϕ} подчиняется бимолекулярной кинетике [7], а рекомбинация осуществляется посредством туннелирования неравновесных носителей заряда, захваченных на ловушки, расположенные вблизи краев зон, на состоянии глубоких дефектов типа D^0 , расположенные в области середины запрещенной зоны [6]. Согласно известным моделям [8], основное участие в релаксационных процессах в нелегированном $a\text{-Si}:\text{H}$ принимают центры типа

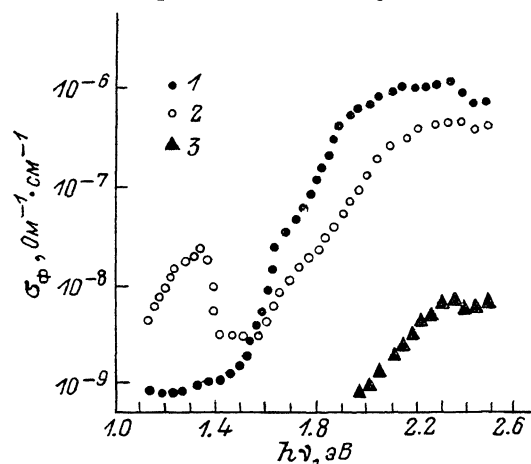


Рис. 3. Спектральные зависимости фотопроводимости для нелегированного $a\text{-Si}:\text{H}$ и $a\text{-Si}:\text{H}$, легированного азотом.

NH_3 в газовой фазе, %: 1 — 0, 2 — 2, 3 — 6.

D^0 , чем, по-видимому, можно объяснить наблюдаемую корреляцию между областями уменьшения фотопроводимости и T_p . В легированном материале концентрация центров типа D^0 гораздо ниже концентрации центров типа D^- [9], и в этом случае рекомбинация, по-видимому, протекает через состояния ловушек D^- . Уменьшение падения σ_{ϕ} в области 150—200 °C может свидетельствовать о слабом участии центров D^- в процессах структурной релаксации. О существовании состояний типа D^- может свидетельствовать и наличие максимума на спектральной зависимости фотопроводимости в области $h\nu=1.25\text{--}1.35$ эВ у образцов $a\text{-Si}:\text{H}$, легированных 2 об% NH_3 из газовой фазы. При введении 6 об% NH_3 область релаксационных процессов смещается в сторону низких температур и эти процессы выражены гораздо слабее.

Таким образом, при легировании $a\text{-Si}:\text{H}$ азотом путем введения 2 об% NH_3 из газовой фазы величина фотопроводимости практически не претерпевает изменений, в то время как релаксационные процессы существенно подавляются, а значение фототока стабилизируется в широком диапазоне температур. Значительное уменьшение фотопроводимости при легировании 6 об% NH_3 и смещение красной границы фотогенерации в коротковолновую область свидетельствуют, по-видимому, об образовании нитридных комплексов.

Список литературы

- [1] Kurata H., Hirose M., Osaka Y. // Japan. J. Appl. Phys. 1984. V. 20. N 11. P. L814—L817.
- [2] Morimoto A., Tsujimura Y., Kumeda M., Shimizu T. // Japan. J. Appl. Phys. 1985. V. 24. N 11. P. 1394—1398.
- [3] Айвазов А. А., Бодягин Н. В., Петров С. В., Белоусов В. С., Приходько Е. Л. // Электрон. промышл. 1991. № 2. С. 23—27.
- [4] McMahon T. J., Tsu R. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. N 6. P. 412—414.
- [5] McMahon T. J., Xi J. P. // Phys. Rev. B. 1986. V. 34. N 4. P. 2475—2481.
- [6] Fuhs W., Welsh H. M., Booth D. C. // Phys. St. Sol. (b). 1983. V. 120. N 1. P. 198—205.
- [7] Vomvas A., Fritzsche H. // J. Non-Cryst. Sol. 1988. V. 97-98. P. 639—641.
- [8] Amorphous silicon and related materials / Ed. by H. Fritzsche. N. Y., 1988. 207 p.
- [9] Shimizu T., Xu X., Sasaki H., Morimoto A., Kumeda M. // J. Non-Cryst. Sol. 1989. V. 114. P. 648—650.