

- [1] Bubenzer A., Dischler D., Brant G. et al. // J. Appl. Phys. 1983. Vol. 54. N 8. P. 4590-4595.
- [2] Locher R., Wild C., Koidl R. // Surf. and Coat. Tech. 1991. Vol. 47. P. 426-432.
- [3] Fujii K., Shohota N., Mikami M. et al. // Appl. Phys. Lett. 1985. Vol. 47. N 4. P. 370-372.
- [4] Яковлев В.Б., Васильева Л.К., Коншина Е.А. и др. // ЖПС. 1990. Т. 53. № 5. С. 863-865.
- [5] Аззам Р., Башаран Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. М.: Мир, 1981. 582 с.
- [6] Pascual E., Serra C., Estevel J. // Surf. and Coat. Tech. 1991. Т. 47. P. 263-268.
- [7] Swith F.W. // J. Appl. Phys. 1984. Т. 55. N 3. P. 764-771.
- [8] Robertson J. // Adv. Phys. 1986. Т. 35. N 4. P. 317-324.
- [9] Коншина Е.А., Баранов А.В. // Поверхность. 1989. № 4. С. 53-58.
- [10] Catterine X., Coudere P. // Thin solid Films. 1986. Т. 144. N 2. P. 265-280.

05;06
© 1995 г.

Журнал технической физики, т. 65, в. 1, 1995

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УДАРНУЮ ИОНИЗАЦИЮ В АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

В.А.Васильев, М.Е.Кумекоев, Е.И.Теруков

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021, Санкт-Петербург, Россия
(Поступило в Редакцию 15 июня 1994 г.)

В [1,2] было показано, что квантовая эффективность внутреннего фотоэффекта a -Si:H и халькогенидном стекле (ХС) c -TlAsSe₂ увеличивается ($\eta > 1$) при энергии фотонов $h\nu_i > 2-2.5E_g$ (E_g — оптическая ширина запрещенной зоны). Это увеличение обусловлено ударной ионизацией горячих носителей заряда, однако механизм этого процесса неясен.

С целью получения информации о механизме ударной ионизации в аморфных полупроводниках нами проведены исследования влияния температуры на фотопроводимость (ФП) и квантовую эффективность $[\eta(h\nu)]$ в пленочных структурах a -Si:H и c -TlAsSe₂ в интервале энергий фотонов 1.5-6.3 эВ и диапазоне $T = 96-400$ К.

Образцы для исследований представляют собой тонкопленочные структуры Al/ a -Si:H/Al и Cr/TlAsSe₂/Cr с планарным расположением электродов, расстояние между которыми составляло 20 мкм. Более подробно изготовление структур и методика их исследования в видимом и УФ диапазоне излучений описана в [1,2]. Вычисление спектральной зависимости $\eta(h\nu)$ проводилось с учетом числа поглощенных фотонов. Для этих целей измерялись спектры оптического поглощения и отражения (α и R).

Типичные спектральные зависимости квазистационарного фототока (i_ϕ) для a -Si:H при трех различных температурах приведены на

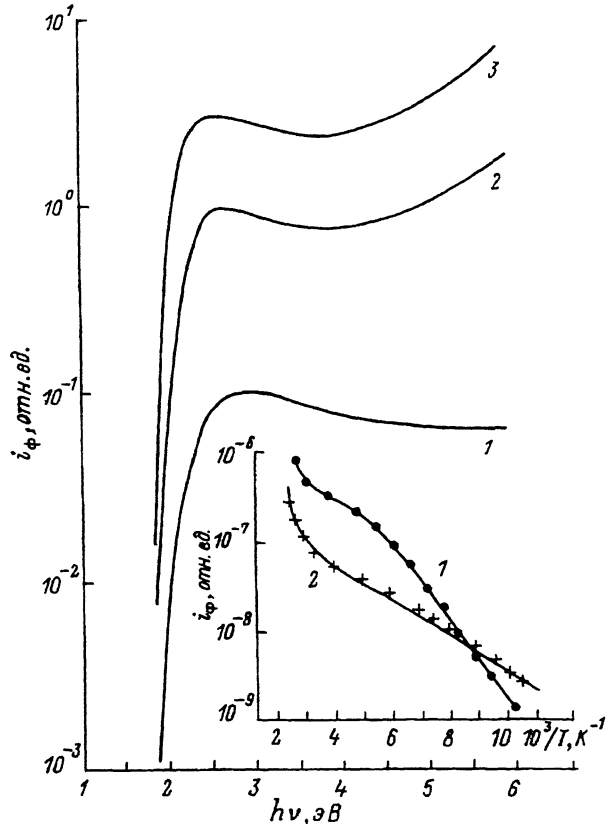


Рис. 1. Спектральная зависимость фототока структур Al/a-Si:H/Al при различных температурах. T, K : 1 — 96, 2 — 295, 3 — 400. Фототок приведен к равному числу падающих фотонов. На вставке температурная зависимость фототока при облучении квантами света с энергией: 1 — $h\nu = 2.5$, 2 — 5.0 эВ.

рис. 1. Красная граница фоточувствительности от температуры определяется зависимостью E_g от T . На вставке рис. 1 приведены зависимости фототока от обратной температуры при облучении монохроматическим светом с энергией фотонов 2.5 (кривая 1) и 5.0 эВ (кривая 2). Изменение фототока характеризуется экспоненциальной зависимостью $i_\phi \sim \exp(-E_a/kT)$ с энергиями активации $E_a = 0.12$ и 0.07 эВ соответственно. Аналогичные исследования $i_\phi(T)$ были проведены и для $TlAsSe_2$, где энергии активации составили $E_a = 0.23$ эВ при облучении $h\nu = 2.5$ эВ и $E_a = 0.20$ эВ при $h\nu = 5$ эВ.

Используя спектральные зависимости $i_\phi(h\nu)$, $\alpha(h\nu)$ и $R(h\nu)$, при допущении $\mu\tau = \text{const}$ были вычислены спектры квантовой эффективности внутреннего фотоэффекта, которые для a-Si:H и $TlAsSe_2$ при трех температурах приведены на рис. 2, а и б. Из рисунка видно, что основные характеристики ударной ионизации при оптическом возбуждении, а именно пороговая энергия увеличения $\eta > 1(h\nu_i)$ и средняя энергия образования электронно-дырочной пары (Δ_i) (штриховая прямая), сильно зависят от температуры. Так, при понижении температуры ве-

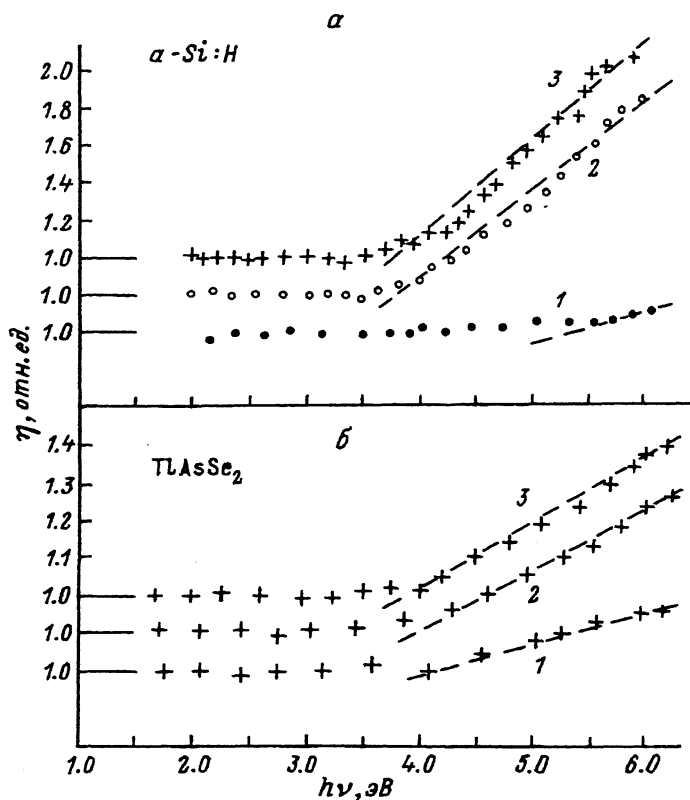


Рис. 2. Спектральная зависимость квантовой эффективности внутреннего фотоэффекта в $a\text{-Si:H}$ (а) при $T = 96$ (1), 295 (2), 400 К (3) и в TlAsSe_2 (б) при $T = 230$ (1), 295 (2), 345 К (3).

личина $h\nu_i$; сдвигается в область больших энергий и Δ_i увеличивается. Для $T = 293$ К $h\nu_i > 2E_g \sim 3.6$ эВ и $\Delta_i = 2.4$ эВ на пару в $a\text{-Si:H}$ и $h\nu > 2.5$, $E_g \sim 3.5$ эВ и $\Delta_i = 5.6$ эВ на пару в TlAsSe_2 .

Следует отметить, что изменение от температуры величин $h\nu_i$ и Δ_i в аморфных полупроводниках имеет противоположный характер по сравнению с кристаллическими полупроводниками. Например, в кристаллическом кремнии наблюдаются уменьшение Δ_i и увеличение $h\nu_i$ с понижением температуры [3].

Процесс ударной ионизации в аморфных полупроводниках в основном определяется законом сохранения энергии, процессами термализации носителей заряда и типом структуры аморфной сетки. Энергия кванта света при поглощении в области энергий, где $\eta > 1$, распределяется между электроном и дыркой таким образом, что один из носителей приобретает кинетическую энергию достаточную для того, чтобы ионизовать еще одну электронно-дырочную пару, которая дает вклад в фототок. Температурные зависимости величин $h\nu_i$ и Δ_i показывают, что если вероятность ударной ионизации не зависит от температуры, то большая часть носителей, рожденная этим процессом, не дает вклада в фототок при низкой температуре. Вероятно, носители заряда захватываются в этом случае на глубокие локализованные состоя-

ния хвостов соответствующих зон. Их вклад в фототок определяется дрейфовой подвижностью μ и энергией активации носителей в делокализованные состояния. При повышении температуры μ увеличивается и спектр квантовой эффективности характеризуется определенной пороговой энергией и малой энергией образования электронно-дырочной пары, т.е. все большее число носителей, рожденных процессом ударной ионизации, дают вклад в фототок.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в процессе ударной ионизации при $\eta > 1$ в аморфных полупроводниках определяющую роль имеет дрейфовая подвижность носителей заряда, которая контролируется спектром локализованных состояний соответствующих разрешенных зон и зависит от типа структуры аморфной сетки.

Авторы выражают благодарность А.С. Волкову за полезное обсуждение результатов и В.Е. Челнокову за поддержку и интерес к данной работе.

Список литературы

- [1] Атаев Ж., Васильев В.А., Волков А.С. и др. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. Вып. 3. С. 81–84. ФТП. 1991. Т. 25. Вып. 8. С. 1350–1354.
- [2] Васильев В.А., Кумеков М.Е., Теруков Е.И. и др. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. Вып. 9. С. 24–27.
- [3] Брицин К.И., Вавилов В.С. // Опт. и спектр. 1960. Т. 8. Вып. 6. С. 861–864.

02;03;04;05;06;10;11;12

Журнал технической физики, т. 65, в. 1, 1995

© 1995 г.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ОСАЖДЕНИЯ И СВОЙСТВА СЛОЕВ КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ СТРУЙНЫМ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ АКТИВАЦИЕЙ ГАЗОВ

Р.Г.Шарафутдинов,¹ М.Р.Бакланов,² Б.М.Аюпов,³ А.М.Бадалян,⁴
О.В.Поляков,³ А.В.Скрытников,¹ А.В.Паразневич,¹
К.Мозильников,² С.А.Бирюков²

¹ Институт теплофизики СО РАН, 630090 Новосибирск, Россия

² Институт физики полупроводников СО РАН, Новосибирск, Россия

³ Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск, Россия

(Поступило в Редакцию 15 июня 1994 г.)

1. Интерес к пленкам гидрогенизированного аморфного кремния α -Si:H определяется целым рядом практических приложений, главными из которых в настоящее время является создание $p-i-n$ -структур для солнечных элементов и функциональных слоев активных транзисторных матриц для жидкокристаллических дисплеев. Чаще всего пленки α -Si:H синтезируют в плазмохимических ВЧ-реакторах. Процессы в таких реакторах принципиально плохо