

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Humphrey F. V., Georgy E. M. // J. Appl. Phys. 1959. 30. P. 935. [2] Колотов О. С., Мусаев Т. Ш., Погожев В. А., Телеснин Р. В. // ФММ. 1978. 46. С. 1182. [3] Иванов Л. П., Логгинов А. С., Непокойчицкий Г. А. // ЖЭТФ. 1983. 84. С. 1006. [4] Колотов О. С., Куделькин Н. Н., Погожев В. А., Телеснин Р. В. // ЖТФ. 1985. 55. С. 761. [5] Логунов М. В., Рандошкин В. В. // ЖТФ. 1985. 55. С. 1194. [6] Дудоров В. Н., Логунов М. В., Рандошкин В. В. // ФТТ. 1986. 28. С. 1549. [7] Логунов М. В., Рандошкин В. В. // ФТТ. 1986. 28. С. 1559. [8] Колотов О. С., Погожев В. А., Телеснин Р. В. // Приб. и техн. эксперимента. 1986. № 1. С. 182.

Поступила в редакцию  
05.06.87

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА, АСТРОНОМИЯ. 1988. Т. 29, № 3

УДК 621.315.592

### О ПРИРОДЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГАШЕНИЯ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В $\alpha$ -Si:H

И. А. Курова, Н. Н. Ормонт, О. Е. Коробов, А. Н. Лупачева

(кафедра физики полупроводников)

Приведены экспериментальные данные по зависимости фотопроводимости пленок  $\alpha$ -Si:H от температуры, напряженности электрического поля и температуры предварительного освещения. Данные интерпретируются с помощью модели, основанной на представлении о существовании случайного потенциального рельефа.

Известно, что в нелегированных пленках  $\alpha$ -Si:H наблюдается температурное гашение фотопроводимости (ТГФ) [1–6]. При облучении белым светом или электронами при комнатной температуре фотопроводимость (ФП) в этих пленках падает и температурное гашение исчезает. Для объяснения в [3] была предложена модель, которая связывала ТГФ с увеличением темпа рекомбинации электрона, захваченного на оборванную связь  $D^-$ , и дырки, захваченной в хвост состояний валентной зоны в результате термически активированного переноса дырки к  $D^-$ . При увеличении концентрации оборванных связей после облучения светом при комнатной температуре или электронами ФП падает, термическая активация переноса дырок становится не эффективной в увеличении рекомбинации и ТГФ исчезает. В процессе отжига при 170°C фотоиндуцированные оборванные связи отжигаются, пленка восстанавливает свои свойства и ТГФ вновь наблюдается. В [7] показано, что облучение нелегированных пленок  $\alpha$ -Si:H белым светом при низких температурах образует фотоиндуцированные дефекты, отличающиеся по свойствам от оборванных связей. Эти дефекты мало влияют на поглощение света в области 1,2 эВ, соответствующее поглощению на оборванных связях. В то же время облучение при низких температурах уменьшает величину ТГФ.

В настоящей работе исследовалось изменение величины и температурной зависимости ФП пленки после ее предварительного облучения при низких температурах. На рис. 1 показана температурная зависимость ФП после отжига пленки при 170°C в течение 45 мин (1), после освещения белым светом при комнатной (2) и низкой (3) температурах. Видно, что после предварительного освещения пленки как при комнатной, так и при низкой температуре ФП пленки падает и ТГФ подавляется, но температурная зависимость ФП различна.

На рис. 2 показаны температурные зависимости ФП пленки  $\sigma(T)$ , предварительно облученной светом при низкой температуре ( $T_0=180$  К) и после охлаждения нагретой до разных значений температуры  $T'$ . Для всех  $T' < T_0$   $\sigma(T)$  практически не изменяется при многократном охлаждении и нагревании до  $T'$  (кривая 3). Если  $T' = T_2' > T_0$ , то ход изменения ФП при последующем охлаждении и повторном нагревании до  $T_2'$  и выше (кривая 2) отличается от первоначального хода  $\sigma(T)$  (кривая 3) и определяется значением  $T'$ . При этом, как видно, возможно частичное восстановление ТГФ. Таким образом, образец «помнит», до какой максимальной температуры  $T'$  он был нагрет.

На рис. 3 приведены температурные зависимости ФП пленки, отожженной и облученной при низкой ( $T=100$  К) и комнатной температурах, измеренной в разных

электрических полях. Видно, что электрическое поле напряженностью  $E=4 \cdot 10^3$  В/см уменьшает ФП и ТГФ (кривые 2, 5), а при  $E=6 \cdot 10^3$  В/см ТГФ практически полностью исчезает (кривая 3). Если ТГФ не наблюдается на температурной зависимости ФП пленки (например, предварительно освещенной белым светом — кривая 6), то электрическое поле не оказывает влияние на фотопроводимость. Полученные результаты возможно объяснить наличием потенциального рельефа, обуславливающего разделение в пространстве электронов и дырок, т. е. образование потенциального барьера для рекомбинации. В результате при повышении температуры влияние барьера уменьшается, время жизни и ФП падают, возникает ТГФ.

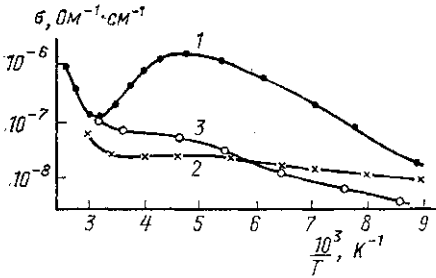


Рис. 1. Температурные зависимости фотопроводимости ( $W=10^{-4}$  Вт/см<sup>2</sup>) пленки  $a\text{-Si:H}$  после отжига при  $T=170^\circ\text{C}$  (1) и после предварительного освещения при температурах 300 (2) и 100 К (3)

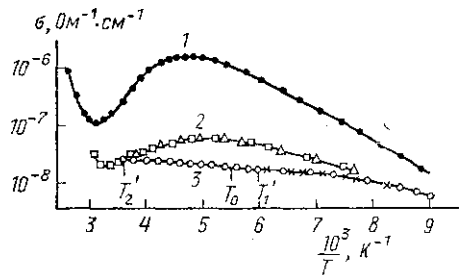


Рис. 2. Температурные зависимости фотопроводимости пленки  $a\text{-Si:H}$  после отжига (1) и после освещения при температуре  $T_0$  (кривые 2, 3): измерения при нагревании (кружочки); при охлаждении от  $T_1'$  (крестики); при охлаждении от  $T_2'$  (треугольники) и дальнейшем нагреве (квадратики)

Предварительное облучение пленок при комнатной температуре увеличивает концентрацию оборванных связей, что приводит к уменьшению времени жизни носителей. В результате потенциальный рельеф оказывает меньшее влияние на ФП пленки, так как пространственное разделение электронов и дырок играет меньшую роль. Соответственно, ТГФ подавляется. Электрическое поле в этом случае не влияет на темп рекомбинации и, следовательно, на ФП пленки.

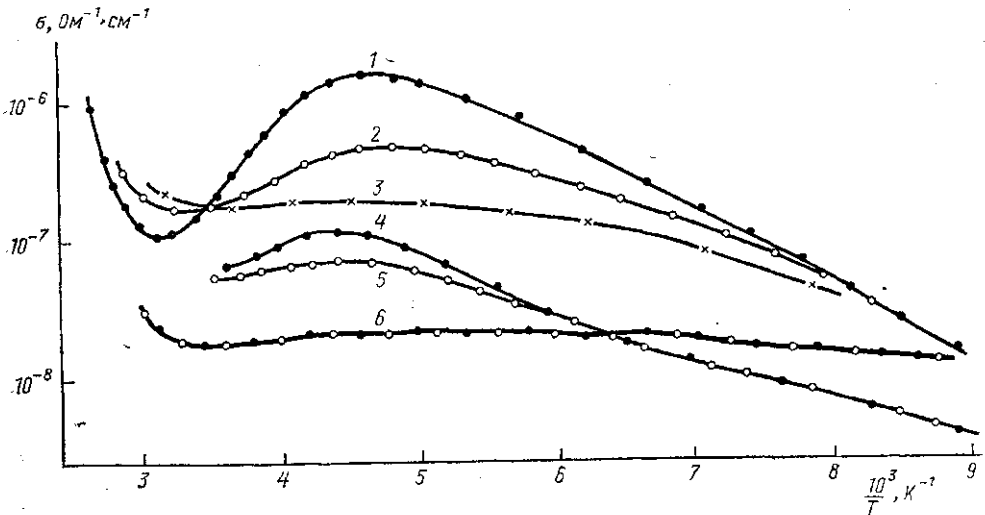


Рис. 3. Температурные зависимости фотопроводимости пленки  $a\text{-Si:H}$  в слабом ( $10^2$  В/см — кривые 1, 4, 6) и сильном ( $4 \cdot 10^3$  В/см — кривые 2, 5, 6 и  $6 \cdot 10^3$  В/см — кривая 3) электрическом поле для трех состояний пленки: после отжига (1, 2, 3), после освещения при  $T=100$  К (4, 5) и после освещения при  $T=300$  К (6)

Предварительное освещение пленок при низких температурах уменьшает ФП и подавляет ТГФ. Этот эффект может быть также обусловлен созданием фотоиндуцированных локализованных состояний в запрещенной зоне, которые, действуя как рекомбинационные центры, уменьшают ФП и ослабляют ТГФ. В этом случае данные, представленные на рис. 2, можно было бы связать с отжигом этих состояний при  $T > T_0$  и восстановлением воздействия потенциального рельефа на темп рекомбинации вследствие пространственного разделения носителей. Однако при этом необходимо предположить, что энергия отжига этих дефектов неоднозначна и весьма мала. Представляется более вероятным, что при освещении при низких температурах происходит перезарядка локализованных состояний с образованием новых центров рекомбинации, уменьшающих время жизни носителей и воздействие на ФП потенциального рельефа.

Таким образом, проведенные в работе исследования позволяют предположить, что ТГФ в нелегированных пленках  $a\text{-Si:H}$  обусловлено наличием в них потенциального рельефа. Из величины средней по образцу напряженности электрического поля, влияющей на ФП и ТГФ, можно оценить размер неоднородностей  $l$ . Считая, что электрическое поле начинает существенно сказываться на термически активированной рекомбинации при  $leE \approx kT$ , для  $T = 200 \text{ K}$  и  $E \approx 10^3 \text{ В/см}$  получаем средний размер неоднородности  $l \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ см}$ . Такие крупномасштабные флуктуации могут быть обусловлены, в частности, неоднородным распределением водорода, приводящим к флуктуациям ширины запрещенной зоны в пленке и флуктуации плотности заряженных состояний.

Авторы благодарят И. П. Звягина за обсуждение результатов работы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Vanier P. E. // *Appl. Phys. Lett.* 1982. 41. P. 986. [2] Persans P. D. // *Phil. Mag.* 1982. В 46. P. 435. [3] Dersch W., Schweitzer L., Stuke J. // *Phys. Rev.* 1983. В 28. P. 4678. [4] Fuhs W., Welsh H. M., Booth D. C. // *Phys. Stat. Sol. (b)*. 1983. 120. P. 197. [5] Курова И. А., Ормонт Н. Н. // *Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон.* 1985. 26, № 1. С. 97. [6] Курова И. А., Ормонт Н. Н., Подругина В. Д., Читая К. Б. // *Там же.* 1985. 26, № 3. С. 96. [7] Nak D., Fritsche H. // *J. Non-Cryst. Sol.* 1983. 59—60. P. 397.

Поступила в редакцию  
11.12.87

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1988. Т. 29, № 3

### ДЕПОНИРОВАНИЕ

УДК 533.9:533.33

О кинетике элементарных процессов в низкотемпературной плазме, содержащей  $\text{XeI}$  / Киселев А. Г., Скороход Е. П.

Решена стационарная задача поуровневой кинетики. Рассматривалось 38 уровней атома  $\text{XeI}$  с учетом реабсорбции излучения. Наряду с фото- и электронными процессами учтены реакции с участием молекулярных ионов. Рассчитаны стационарные распределения возбужденных атомов. Составлены диаграммы электронных состояний, связывающие первоначальную плотность газа, температуру и концентрацию электронов. Главная особенность диаграммы в отличие от распределения Саха — резкое уменьшение при средних давлениях концентрации электронов из-за большой величины скорости диссоциативной рекомбинации. Для оптически плотной плазмы в большей части диаграммы температура распределения возбужденных атомов совпадает с заданной температурой электронов.

Деп. ВИНТИ № 8638-B87 от 10.12.87.

УДК 533.7

Метод построения решения уравнения Больцмана для газа, состоящего из шероховатых сферических молекул / Воронина В. А.

Предлагается метод, позволяющий с любой заданной степенью точности приблизить решение пространственно однородного уравнения Больцмана для смеси газов, состоящих из шероховатых сферических молекул, решениями системы стохастических дифференциальных уравнений по мере Пуассона.

Деп. ВИНТИ № 89-B88 от 11.01.88.