УДК 621.315.592

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА a-Si : H

И. А. Курова, Н. Н. Ормонт

(кафедра физики полупроводников)

В ряде работ [1—4] в нелегированных пленках *a*-Si:H наблюдались температурное и ИК гашение межзонной фотопроводимости, суперлинейные люкс-амперные характеристики (ЛАХ). Эти эффекты в [1—3] объясняются двухуровневой моделью Роуза [5]. Для объяснения ИК и температурного гашения межзонной фотопроводимости в [4] использовалась модель рекомбинации, предложенная в [6], в которой скорость рекомбинации электронов и дырок управляется скоростью оптического или термического возбуждения дырок с центров прилипания в валентную зону. Дальнейшее исследование эффектов гашения и ЛАХ представляется перспективным для выяснения механизмов рекомбинации в *a*-Si : H и природы центров захвата неравновесных носителей.

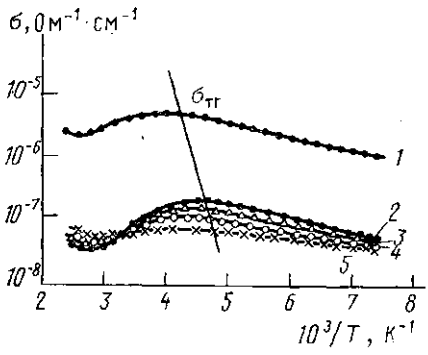

Рис. 1. Температурные зависимости стационарной межзонной проводимости пленки *a*-Si:H при разных интенсивностях освещения W и разных электрических полях V: $V=2{,}5\cdot10^2$ (*1*, *2*), $2\cdot10^3$ (*3*), $4\cdot10^3$ (*4*) и $1{,}2\cdot10^4$ (*5*) В·см$^{-1}$; $W=4\cdot10^{15}$ (*1*) и $6\cdot10^{13}$ (*2—5*) фотон·см$^{-2}$·с$^{-1}$

В настоящей работе исследовалось влияние электрического поля на температурное гашение и люкс-амперные характеристики. Пленки *a*-Si:H были выращены методом разложения моносилана в тлеющем высокочастотном разряде при температуре подложки $\sim 180°$ С. Контакты из Cr были нанесены на подложку перед выращиванием пленки. Перед измерениями образцы отжигались при $T=170°$ С. Энергия активации темновой проводимости в этих пленках равна 0,8 эВ.

На рис. 1 и 2 показаны температурные зависимости межзонной фотопроводимости при разных интенсивностях освещения и люкс-амперные характеристики в полях до 10^4 В·см$^{-1}$. Из рис. 1, 2 видно, что температурное гашение и суперлинейность ЛАХ подавляются электрическим полем. При этом в области низких температур фотопроводимость с ростом поля уменьшается, а в области высоких температур слабо растет. Возрастание проводимости в электрическом поле $E>10^4$ В·см$^{-1}$ и суперлинейность вольт-амперной характеристики (ВАХ) наблюдались в [7] на образце термически напыленного *a*-Si:H и объяснялись эффектом Френкеля—Пула для локализованных состояний у зоны проводимости, заполненных электронами. На рис. 3 приведены ВАХ одного из исследованных нами образцов. В согласии с рис. 1 они сублинейны при низких температурах и суперлинейны при высоких.

Температура начала гашения фотопроводимости $\sigma_{тг}$ зависит от интенсивности освещения. Энергия активации температурной зависимости

$\sigma_{тг}$ в соответствии с [5] определяет энергетическое положение локализованных состояний, играющих роль уровней захвата для неосновных носителей — дырок, при предположении не зависящей от температуры подвижности основных носителей — электронов. Для наших пленок

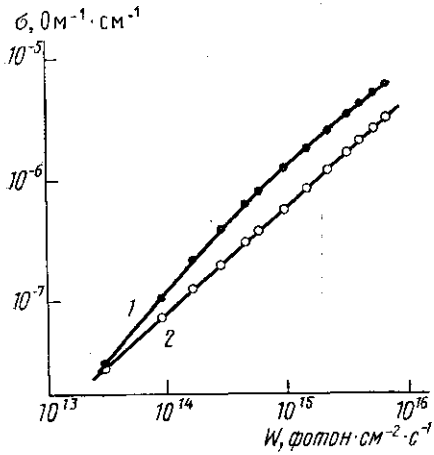

Рис. 2. Люкс-амперные характеристики пленки a-Si:H ($\sigma=W^{\gamma}$), $T=300$ К, длина волны излучения $\lambda=0{,}63$ мкм. *1* — $V=2{,}5\cdot10^{2}$ В·см$^{-1}$, $\gamma=1{,}2$ (при $3\cdot10^{13}<W<3\cdot10^{14}$); *2* — $V=1{,}2\cdot10^{4}$ В·см$^{-1}$, $\gamma=0{,}88$

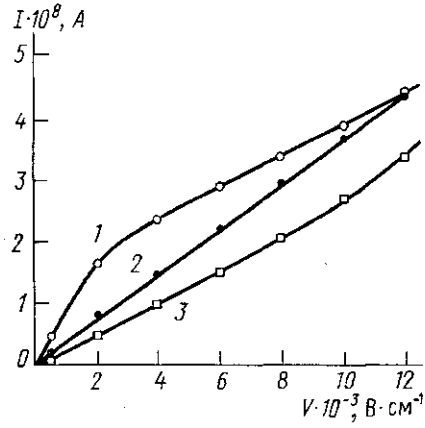

Рис. 3. Вольт-амперные характеристики пленки a-Si:H при разных температурах: 210(*1*), 300(*2*) и 357(*3*) К. Интенсивность подсветки $W=6\cdot10^{13}$ фотон·см$^{-2}$·с$^{-1}$

энергия активации $\sigma_{тг}(T)$—$E_1=0{,}8$ эВ. Такая большая величина E_1 может быть связана с тем, что подвижность электронов зависит от температуры. Согласно [8] в нелегированных пленках a-Si:H энергия активации подвижности электронов $\sim0{,}15$ эВ. Таким образом, положение центров захвата для дырок соответствует эффективной энергии активации их в валентную зону $E\simeq0{,}65$ эВ. Такая величина термической энергии активации дырок, по-видимому, должна указывать на захват их на уровни дефектов или примеси, а не в «хвост валентной зоны».

В работе [2] наблюдается ИК гашение межзонной фотопроводимости при температурах, близких к комнатной, и объясняется в рамках модели Роуза наличием центров захвата дырок с максимумом плотности состояний при энергиях $\sim0{,}8$ эВ выше валентной зоны. Мы также предполагаем, что в наших образцах имеются центры захвата дырок с энергией термической ионизации в валентную зону $\sim0{,}65$ эВ. Поэтому в модель рекомбинации и ИК гашения фотопроводимости, предложенную в [6], мы включаем также захват дырок на эти центры, подобно тому, как это сделано в [4] для напыленных пленок a-Si:H. Таким образом, модель рекомбинации для возбужденных светом дырок и электронов включает процесс термализации в хвостах соответствующих зон и последующий захват на глубокие центры, а затем их рекомбинацию. Последний процесс может усиливаться термическим (или оптическим) способом, в результате чего убыстряется рекомбинация и наблюдается температурное (или ИК) гашение: усиление рекомбинации может быть обусловлено оптической или термической ионизацией дырки в зону. Влияние электрического поля формально можно свести также к усилению рекомбинации, причем это усиление проявляется при низких температурах, как и в случае воз-

действия ИК светом, так как при низких температурах, по-видимому, рекомбинация определяется процессами, связанными с дырками. При высоких температурах скорость рекомбинации определяется электронными процессами.

Нам представляется логичным предположить, что электрическое поле действует одинаковым образом на электроны и дырки, и это действие сводится к уменьшению термической энергии ионизации электронов и дырок, захваченных на локализованные состояния, в частности в хвостах зоны — эффект Френкеля—Пула (эффекты, связанные с разогревом носителей в электрическом поле, в веществах с малой подвижностью носителей невозможны). При высоких температурах, когда, согласно [6], концентрация электронов определяется процессами их захвата и ионизации, эффект Френкеля—Пула увеличивает электронную проводимость в пленках. При низких температурах скорость рекомбинации электронов определяется процессами захвата и выброса дырок. Дырки, выброшенные в зону, могут легче подходить к центрам захвата, которые расположены близко к состояниям, занятым электронами, в результате чего усиливается рекомбинация носителей. Электрическое поле, уменьшая термическую энергию ионизации дырок и увеличивая таким образом скорость рекомбинации электронов и дырок, уменьшает проводимость при низких температурах. Эффект влияния электрического поля наблюдается нами начиная со средних напряженностей $\sim 2 \cdot 10^3$ В·см$^{-1}$. Эта величина меньше приведенной в работе [7] критической величины напряженности электрического поля, при которой начинается возрастание электронной проводимости в пленках *a*-Si:H вследствие эффекта Френкеля—Пула. Можно предположить, что это расхождение связано не только с большей чувствительностью эффекта гашения к изменениям скорости ионизации дырок, но и с возможным неоднородным распределением электрического поля, обусловленным «врожденными» неоднородностями пленок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Vanier P. E., Dalahoy A. E., Griffth R. W. J. Appl. Phys., 1981, **52**, p. 5235. [2] Persans P. D., Fritzsche H. J. Phys., 1981, **42**, p. C—4—597. [3] Persans P. D. Phil. Mag., 1982, **B 46**, p. 435. [4] Fuhs W., Welsch H. M., Booth D. C. Phys. Stat. Sol. (b), 1983, **120**, N 1, p. 197. [5] Бьюб Р. Фотопроводимость твердых тел. М.: ИЛ, 1962. [6] Dersch H., Schweitzer L., Stuke J. Phys. Rev. B., 1983, **27**, p. 4678. [7] Андреев А. А. и др. ФТП, 1980, **14**, с. 1859. [8] Spear W. E. J. Non-Cryst. Sol., 1983, **59—60**, p. 1.

Поступила в редакцию
15.06.84