

Режим ОВКР в безграничной среде. В области $ct_p/L \leq 2$ ОВКР происходит подобно тому, как если бы импульс накачки распространялся в безграничной среде. Типичный пример динамики ОВКР в этом режиме представлен на рис. 5. Расчеты показывают, что при фиксированном уровне интенсивности накачки параметры выходных импульсов накачки и стоксовой компоненты почти не зависят от длины комбинационно-активной среды. Характерной особенностью данного режима является то, что передний фронт обратного стока импульса значительно короче фронта импульса накачки. Отметим, что встречное взаимодействие импульсов накачки и стоксовой компоненты в безграничной среде описывается простыми аналитическими формулами [9, 10].

Авторы благодарны И. Н. Жмакину за дружескую поддержку и полезные обсуждения. Мы признательны также В. А. Горбунову, указавшему нам на возможность существенного усиления численного метода решения уравнений ОВКР.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гахович Д. Е., Грабчиков А. С., Дьяков Ю. Е. и др. // Тез. докл. XIII Междунар. конф. по когерентной и нелинейной оптике. Ч. 2. С. 189. Минск, 1988.
 [2] Апанасевич П. А., Гахович Д. Е., Грабчиков А. С. и др. // Изв. АН СССР, сер. физ. 1989, 53, № 6. С. 1031. [3] Апанасевич П. А., Дьяков Ю. Е., Котаев Г. Г. и др. Препринт ИФ АН БССР № 600. Минск, 1990. [4] Апанасевич П. А., Дьяков Ю. Е., Котаев Г. Г. и др. // Тез. докл. XIV Междунар. конф. по когерентной и нелинейной оптике. Л., 1991. Ч. 1. С. 176. [5] Жмакин И. Н., Никитин С. Ю., Сивашов Д. А. // Там же. С. 175. [6] Жмакин И. Н., Никитин С. Ю., Сивашов Д. А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1992, 33, № 1. С. 65
 [7] Johnson R. V., Marburger J. H. // Phys. Rev. 1971. A4. P. 1175. [8] Kachen G. I., Lowdermilk W. H. // Phys. Rev. 1977. A16. P. 1657. [9] Maier M., Kaiser W., Giordmaine J. A. // Phys. Rev. 1969. 177. P. 580. [10] Murray J. R., Goldfar J., Eimeri D., Szoke A. // IEEE J. Quant. Electron. 1979. QE-15. P. 342.

Поступила в редакцию
12.12.91

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА, АСТРОНОМИЯ, 1992. Т. 33, № 4

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 621.315.592

ЭФФЕКТ СТЕБЛЕРА—ВРОНСКОГО В ПЛЕНКАХ АМОРФНОГО ГИДРИРОВАННОГО КРЕМНИЯ p -ТИПА

А. Г. Казанский *)

(кафедра физики полупроводников)

Исследована динамика изменения темновой проводимости после освещения пленки аморфного гидрированного кремния (a -Si:H) с различным уровнем легирования бором. Измерения проводились в интервале температур 270—470 К. Выявлены три процесса, определяющих изменение проводимости. Два из них, приводящие к увеличению проводимости, связаны с поверхностью пленки. Третий процесс имеет объемный характер. Рассмотрены возможные механизмы данных процессов.

*) Работа выполнена в Марбургском университете.

Изменение свойств пленок аморфного гидрированного кремния ($a\text{-Si:H}$) p -типа в результате воздействия на него света (эффект Стеблера—Вронского) исследовано в значительно меньшей степени [1—8] по сравнению с пленками нелегированного $a\text{-Si:H}$ и $a\text{-Si:H}$ n -типа. Изучая влияние освещения при комнатной температуре на темновую проводимость (σ) пленок, легированных бором, авторы [1] наблюдали увеличение σ после освещения для слаболегированных и уменьшение для сильнолегированных пленок. В то же время согласно [2—6] освещение при комнатной температуре приводит к увеличению σ как в слаболегированных пленках $a\text{-Si:H}$ [2, 5], так и в сильнолегированных [4, 6]. По мнению авторов [5], увеличение σ после освещения при комнатной температуре связано с ростом концентрации электрически активных атомов бора. Однако результаты [2, 3] указывают на то, что увеличение измеряемой проводимости определяется процессами, происходящими на поверхности пленки и приводящими к увеличению обогатленного дырками слоя вблизи поверхности.

Изучая динамику изменения σ пленок, полученных при температуре $T_s=100^\circ\text{C}$, в результате их освещения при $T=50\text{—}90^\circ\text{C}$ авторы [8] наблюдали уменьшение σ при малых временах освещения и увеличение при больших временах. Возрастание σ объясняется в [8] (как и в [5]) увеличением концентрации электрически активных атомов бора в объеме пленки.

Как следует из сказанного выше, имеющиеся в настоящее время данные по влиянию освещения на σ пленок $a\text{-Si:H}$ p -типа, а также их интерпретация противоречивы. В связи с этим представляет интерес проведение комплексных исследований динамики изменения проводимости при различных временах освещения, а также влияние на нее уровня легирования пленок бором.

В настоящей работе были исследованы пленки $a\text{-Si:H}$ (полученные в Марбургском университете), осажденные на кварце при температуре $T_s=250\text{ K}$ при разложении в ВЧ тлеющем разряде смеси диборана B_2H_6 и моносилана SiH_4 . Объемная концентрация газов в реакционной камере $k=[\text{B}_2\text{H}_6]/[\text{SiH}_4]$ составляла $3\cdot 10^{-6}$, 10^{-5} , $3\cdot 10^{-5}$ и $3\cdot 10^{-4}$. Толщина исследованных пленок лежала в пределах $0,9\text{—}1,2$ мкм. Пленки имели магниевые контакты, которые напылялись на подложку перед осаждением пленки $a\text{-Si:H}$. Расстояние между контактами составляло $0,3$ мм. Световая деградация пленок проводилась излучением лампы накаливания, пропущенным через тепловой фильтр (интенсивность 50 мВт/см²). Перед измерениями пленки отжигались в вакууме 10^{-6} Тор в течение 30 мин при температуре $T_a=200^\circ\text{C}$.

Измерения показали, что освещение приводит к изменению σ . Отжиг при $T_a=200^\circ\text{C}$ восстанавливает исходные значения. На рис. 1 представлены зависимости от времени освещения относительной проводимости σ/σ^A (σ^A — проводимость отожженного образца), полученные для пленки с $k=3\cdot 10^{-6}$ при различных температурах освещения. Как видно из рис. 1, характер изменения σ существенно зависит как от времени освещения, так и от температуры. Освещение образца при $T=300\text{ K}$ в течение нескольких десятков секунд приводит к увеличению σ . С увеличением продолжительности освещения σ уменьшается. При температурах 330 , 360 и 400 K с увеличением времени освещения образца σ сначала уменьшается и затем начинает возрастать, оставаясь для исследованных времен освещения меньше σ^A . С ростом температуры переход от уменьшения к увеличению σ смещается в область меньших времен. Наконец, для $T=440\text{ K}$ проводимость после освещения превышает σ^A , возрастая со временем освещения. Для образцов с $k=$

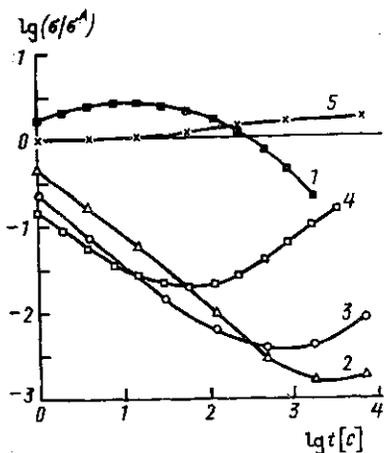


Рис. 1. Зависимости проводимости в относительных единицах (σ/σ^0) пленки с $k=3 \cdot 10^{-6}$ от времени освещения при различных температурах (σ^0 — проводимость отожженного образца): $T=300$ (1), 330 (2), 360 (3), 400 (4) и 440 К (5)

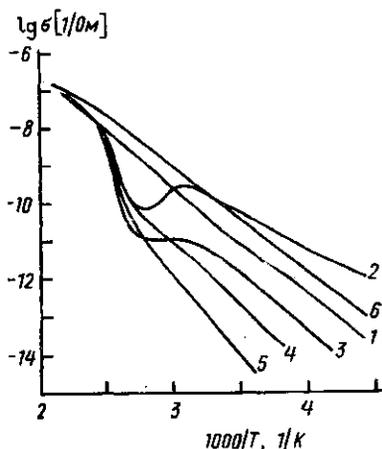


Рис. 2. Температурные зависимости проводимости σ для пленки с $k=10^{-5}$ после освещения при различных температурах T и временах освещения t : 270 К и 2 ч (2), 290 К и 2,5 ч (3), 300 К и 18 ч (4), 330 К и 2 ч (5), 400 К и 2 ч (6); 1 — отожженный образец

$=10^{-5}$ и $3 \cdot 10^{-5}$ характер изменения σ в результате освещения при различных температурах близок к данным, полученным для $k=3 \cdot 10^{-6}$. С ростом легирования время перехода от уменьшения к возрастанию σ уменьшалось. В случае образца с $k=3 \cdot 10^{-4}$ σ возрастало после освещения для всех исследованных температур. Отметим, что после выключения света для пленки с $k=3 \cdot 10^{-4}$ наблюдалась медленная релаксация σ .

Рассмотрим результаты, полученные для пленок α -Si:H с уровнем легирования, соответствующим $k=(3-30) \cdot 10^{-6}$. На основании представленных на рис. 1 зависимостей можно сделать вывод о существовании трех процессов, которые определяют изменение проводимости исследованных пленок α -Si:H p -типа после их освещения. Два из них приводят к увеличению измеряемой проводимости и один — к ее уменьшению. Роль каждого из указанных процессов изменяется при изменении температуры освещения. В частности, один из процессов, вызывающих увеличение проводимости, проявляется в области комнатных температур, в то время как роль другого возрастает с повышением температуры освещения.

Температурные зависимости σ после освещения пленок при различных температурах имеют сложный характер. В качестве примера на рис. 2 представлены зависимости $\sigma(T)$ для пленки с $k=10^{-5}$. Показана также зависимость, соответствующая отожженному состоянию. Измерения проводились при повышении температуры. Скорость увеличения температуры составляла 4 град/мин. Необходимость измерения σ при различных температурах в одинаковых условиях подъема температуры была связана с тем, что при $T > 330$ К происходил отжиг изменений σ , вызванных освещением. В случае освещения пленки при $T < 330$ К на зависимости $\sigma(T)$ можно выделить две характерные области температур, в одной из которых (320—360 К) происходит ослабление скорости увеличения σ с ростом температуры или уменьшение

σ , в то время как в другой (360—400 К) наблюдается увеличение скорости возрастания σ с ростом температуры. В случае длительного освещения при $T < 330$ К проявляется третья характерная область температур (400—440 К), в которой скорость увеличения σ с температурой уменьшается. При освещении пленки при $T = 330$ —360 К на температурных зависимостях остаются две характерные области, в одной из которых происходит увеличение скорости изменения σ с температурой (360—400 К), в другой — ее уменьшение (400—440 К). Наконец, в случае освещения пленок при $T = 400$ —440 К на кривой наблюдается лишь одна область температур, в которой происходит ослабление скорости возрастания σ с ростом температуры.

Представленные зависимости подтверждают предположение о том, что изменение σ в результате освещения связано с тремя процессами, имеющими различные температуры отжига вызванных ими изменений σ . При $T = 330$ —360 К происходит отжиг изменений σ , связанных с процессом, определяющим увеличение σ при освещении пленки при температурах, близких к комнатной (процесс 1). В области 360—400 К отжигаются изменения σ , вызванные процессом, приводящим к уменьшению σ (процесс 2). Наконец, при $T = 400$ —440 К отжигаются изменения σ , связанные с процессом, вызывающим ее увеличение в результате освещения пленок при высоких температурах либо их длительного освещения (процесс 3). Измерения зависимостей $\sigma(T)$, проведенные для пленок с $k = 3 \cdot 10^{-6}$ и $3 \cdot 10^{-5}$, показывают, что увеличение легирования приводит к уменьшению характерных температур отжига.

Одним из основных вопросов, возникающих при интерпретации процессов, приводящих к изменению проводимости пленок $a\text{-Si:H}$ p -типа в результате их освещения, является вопрос о влиянии поверхности на измеряемые величины [2, 3, 9].

Рассмотрим изменение σ , наблюдаемое после освещения пленок при комнатных температурах. Нами были проведены исследования влияния травления поверхности пленки на зависимость σ от времени освещения. Травление проводилось в 5% растворе HF в течение 2 мин непосредственно перед помещением пленки в криостат. Результаты для пленки с $k = 3 \cdot 10^{-6}$ при ее освещении при $T = 300$ К представлены на рис. 3. Кривые 1 и 2 получены соответственно до и после травления поверхности. На рис. 3 стрелкой показано также изменение σ после освещения нетравленной пленки в течение 15 мин и последующего травления. Как видно из рисунка, травление поверхности уменьшает проводимость пленки. После травления поверхности на зависимости σ от времени освещения исчезает область возрастания σ и величина σ уменьшается во всем временном интервале. Полученный результат согласуется с данными [2, 3] и указывает на то, что процесс 1, определяющий увеличение σ при освещении в области комнатной температуры, связан с поверхностью. В то же время процесс 2, приводящий к уменьшению σ , имеет объемный характер. Авторы [2, 3] связывают рост σ с увеличением обогащенного дырками слоя вблизи поверхности пленки, вызванного образованием отрицательно заряженных состояний в слое окисла. По нашему мнению, причиной увеличения обогащенного слоя является рост отрицательного заряда на состояниях поверхности либо на границе раздела вследствие захвата на них неравновесных электронов. В результате травления концентрация поверхностных состояний уменьшается. Соответственно уменьшается их влияние на измеряемую проводимость. Медленная релаксация σ , наблюдаемая после освещения нетравленных пленок при комнатной температуре, может быть связана с туннелированием захваченных на по-

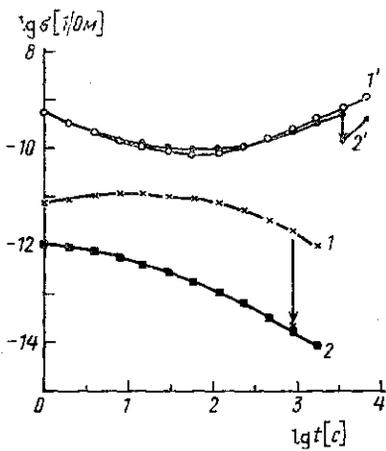


Рис. 3. Зависимости проводимости σ от времени освещения пленки с $k=3 \cdot 10^{-6}$ при $T=300$ К (1, 2) и 400 К (1', 2') до (1, 1') и после (2, 2') травления пленки

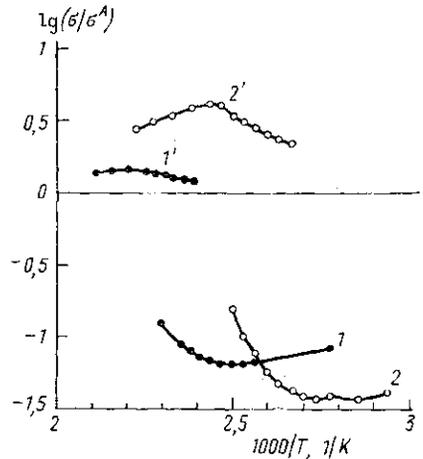


Рис. 4. Влияние температуры на относительное изменение проводимости (σ/σ^A) пленки с $k=3 \cdot 10^{-6}$ (1, 1') и $3 \cdot 10^{-5}$ (2, 2') после их краткого (1, 2) и длительного (1', 2') освещения. Время освещения: 4 с (1), 2 с (2), 3 мин (1') и 8 мин (2')

верхностные состояния электронов через слой окисла в пленку. Это приводит к уменьшению обогащенного дырками приповерхностного слоя и уменьшению σ .

Рассмотрим изменение σ , наблюдаемое после освещения пленки при высоких температурах либо при длительном освещении. Как видно из рис. 1, длительное освещение приводит к увеличению σ . В начале данной работы было отмечено, что аналогичный результат для образцов, осажденных при $T_s=100^\circ\text{C}$, был получен в [8]. Авторы [8] связывают увеличение σ с объемным процессом, а именно с увеличением в результате освещения концентрации электрически активных атомов бора. Как сообщалось в [8], травление пленки не приводит к исчезновению участка кривой, соответствующего возрастанию σ . Для выяснения механизма высокотемпературного увеличения σ мы также провели сравнительные исследования изменения σ для пленки до и после ее травления. Результаты, полученные для пленки с $k=3 \cdot 10^{-6}$ и $T=400$ К, представлены на рис. 3 (кривые 1' и 2'). Как видно, травление не приводит к изменению характера зависимости σ от времени освещения: при больших временах освещения для травленной пленки также наблюдается увеличение σ . В то же время травление поверхности пленки после ее освещения в течение 1 ч при $T=400$ К (на участке возрастания σ) приводит к уменьшению σ (показано стрелкой). Последующее освещение в течение 1 ч практически восстанавливает исходное значение σ пленки до ее травления. Этот результат указывает на то, что процесс 3 связан с поверхностью. Причем травление не ликвидирует причины, определяющие данный процесс — характер изменения σ до и после травления близок.

Имеющиеся в литературе данные о влиянии освещения на поверхность $\alpha\text{-Si:H}$ не позволяют дать однозначный ответ на причины увеличения проводимости $\alpha\text{-Si:H}$ в результате освещения при высоких температурах. Известно, что концентрация дефектов и соответственно

плотность их состояний на поверхности пленки $a\text{-Si:H}$ превышает плотность состояний в объеме и составляет 10^{18} см^{-3} [10]. Это связывают с наличием у поверхности $a\text{-Si:H}$ значительной концентрации водорода, содержащегося в полигидридной форме (SiH_2 , SiH_3) [10]. Предполагается [10], что энергетические состояния связанных с водородом поверхностных дефектов отличаются от состояний объемных оборванных связей. В результате освещения относительная концентрация дефектов вблизи поверхности возрастает в большей степени по сравнению с объемной концентрацией [11]. Отличие природы дефектов вблизи поверхности может быть ответственным за то, что освещение вызывает появление акцептороподобных состояний, расположенных ниже уровня Ферми. В результате этого вблизи поверхности образуется обогащенный дырками слой. Образование обогащенного дырками слоя может быть также связано с возможной локальной структурной перестройкой, происходящей при захвате состояниями вблизи поверхности неравновесных носителей и приводящей к увеличению концентрации электрически активных атомов бора [12]. Не исключая возможности данных процессов, мы полагаем более вероятным механизмом процесса 3 образование метастабильных отрицательно заряженных состояний в слое окисла на поверхности $a\text{-Si:H}$. Отметим совпадение температур, при которых происходит отжиг изменений σ , вызванных процессом 3 (440 К), и отжиг созданных светом дефектов в окисле в структурах $a\text{-SO}_x\text{:H/a-Si:H}$ [13]. Как видно из рис. 3, травление $a\text{-Si:H}$ приводит к исчезновению вызванных процессом 3 изменений σ . Это может быть связано с исчезновением в результате травления слоя окисла с созданными в нем дефектами. В то же время использованная нами процедура химического травления поверхности пленки не позволяла избежать влияния атмосферы на поверхность протравленной пленки перед ее помещением в криостат. Поэтому увеличение σ при освещении травленной пленки может быть связано с образованием дефектов в слое нового окисла.

Различие скоростей рассмотренных трех процессов, приводящих к изменению σ , а также отличие температур, при которых происходит отжиг вызванных ими изменений, позволяет провести независимые исследования каждого из них. В дальнейшем мы рассмотрим процесс, определяющий уменьшение σ (процесс 2), и процесс, определяющий увеличение σ при освещении в области $T > 330 \text{ К}$ (процесс 3).

На рис. 4 показано влияние температуры в интервале 340—420 К на относительное изменение σ пленок с $k=3 \cdot 10^{-6}$ и $3 \cdot 10^{-5}$ при их освещении в течение короткого промежутка времени (2—4 с) (кривые 1, 2). В данных условиях изменение σ в основном определяется процессом 2, который связан с возникновением состояний в объеме пленки и приводит к смещению уровня Ферми к середине щели подвижности. Как видно из рис. 4, рост температуры приводит к некоторому увеличению изменений σ , вызванных процессом 2, что связано с активацией процесса образования дефектов в объеме пленки. При больших температурах в результате отжига образующихся дефектов относительное изменение σ уменьшается. С ростом легирования характерные температуры отжига уменьшаются.

На основании представленных данных можно получить информацию о зависимости концентрации созданных дефектов (ΔN_D) от температуры освещения. Действительно, предполагая независимость плотности состояний от энергии ($N(E_f) = N$) в области смещения уровня Ферми $\Delta E_f = kT \cdot \ln(\sigma^A/\sigma)$, можно записать $\Delta E_f = \Delta N_D/N \sim \Delta N_D$. Анализ данных, представленных на рис. 4, показывает, что в области темпе-

ратур, соответствующих возрастанию ΔN_D с температурой, увеличение ΔN_D характеризуется энергией активации $\sim 0,06$ эВ для $k=3 \cdot 10^{-6}$ и $\approx 0,04$ эВ для $k=3 \cdot 10^{-5}$. Эти значения близки к энергии активации образования дефектов в результате освещения пленок нелегированного $a\text{-Si:H}$ (0,04 эВ) [14].

Изучение релаксации проводимости после кратковременного освещения пленок при температурах 360—420 К позволило исследовать кинетику отжига изменений проводимости, вызванных процессом 2. В качестве примера на рис. 5 показаны зависимости относительного изменения σ после освещения пленок с $k=3 \cdot 10^{-5}$ в течение 2 с (штриховые кривые). На рис. 6 показано влияние температуры на время релакса-

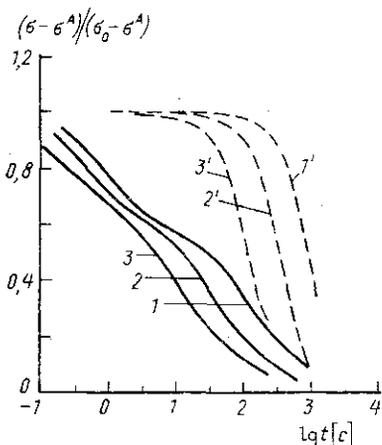


Рис. 5. Релаксация изменения проводимости в относительных единицах $(\sigma - \sigma^A) / (\sigma_0 - \sigma^A)$ после освещения при различных температурах пленки с $k=3 \cdot 10^{-5}$ в течение 2 с (штриховые кривые) и 4 мин (сплошные кривые) (σ_0 — проводимость после прекращения освещения): $T=410$ (1), 430 (2), 450 (3), 360 (1'), 370 (2') и 380 (3')

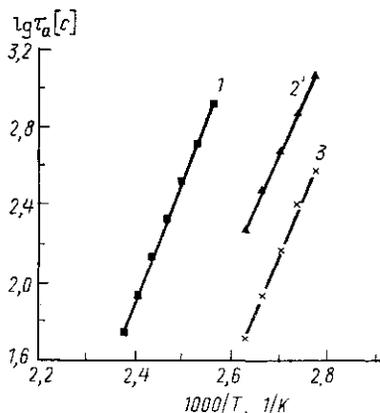


Рис. 6. Температурные зависимости времени релаксации отжига τ_a (см. текст) для исследованных пленок: $k=3 \cdot 10^{-6}$ (1), 10^{-5} (2) и $3 \cdot 10^{-5}$ (3)

ции отжига τ_a , определенное на полуспаде зависимостей $\Delta E_f(t) \sim \Delta N_D(t)$. Энергии активации τ_a для образцов с $k=3 \cdot 10^{-6}$, 10^{-5} и $3 \cdot 10^{-5}$ составляют соответственно $1,26 \pm 0,01$; $1,1 \pm 0,03$ и $1,18 \pm 0,05$ эВ. Данные величины близки к энергии активации отжига дефектов типа оборванных связей, возникающих в нелегированном $a\text{-Si:H}$ в результате освещения (1,0—1,2 эВ) [14]. Из рис. 6 видно, что увеличение легирования приводит к уменьшению τ_a при данной температуре, что согласуется с результатами, представленными на рис. 4.

Рассмотрим влияние температуры на изменения проводимости, связанные с процессом 3. Зависимости относительного увеличения σ , полученные для пленок с $k=3 \cdot 10^{-5}$ и $3 \cdot 10^{-6}$ в результате их освещения в течение 3—8 мин, показаны на рис. 4. Как и в случае процесса 2, интенсивность процесса 3 возрастает с температурой. С ростом легирования температура, при которой начинается отжиг изменений σ , вызванных процессом 3, уменьшается. На рис. 5 показана динамика отжига изменений σ , вызванных процессом 3, после освещения в течение 4 мин пленки с $k=3 \cdot 10^{-5}$. Из рис. 5 видно, что характер отжига из-

менений σ , вызванных процессом 2 и процессом 3, существенно различается. Это также свидетельствует о различной природе процессов 2 и 3, приводящих соответственно к уменьшению и увеличению σ пленок $a\text{-Si:H}$ p -типа в результате их освещения.

Рассмотрим, наконец, результаты исследований пленки с $k=3 \cdot 10^{-4}$. Характерной особенностью данной сильно легированной пленки были долговременные релаксации проводимости при изменении условий измерения температуры, освещения, приложенного напряжения. Это не позволило нам провести для данного образца весь комплекс исследований, представленный выше для пленок с меньшим уровнем легирования. Известно [15], что сильное легирование $a\text{-Si:H}$ бором приводит к существенному ухудшению структуры материала, появлению структурных неоднородностей. Поэтому можно предположить, что возможной причиной долговременных релаксаций является перезарядка состояний на границах раздела микрон неоднородностей.

Таким образом, проведенные исследования влияния освещения на проводимость пленок $a\text{-Si:H}$ p -типа позволяют сделать следующие выводы. Изменение проводимости пленок определяется тремя процессами, характеризующимися различными скоростями вызываемых ими изменений и их отжига. Два из указанных процессов, приводящих к увеличению проводимости, связаны с поверхностью. Один из них, определяемый зарядом имеющихся состояний на поверхности и/или границе раздела пленка—окисел, проявляется в области температур, меньших 330 К. Второй из указанных процессов связан с образованием новых состояний в окисле и/или на поверхности $a\text{-Si:H}$. Третий процесс, приводящий к уменьшению проводимости, связан с увеличением концентрации дефектов в объеме пленки. С ростом легирования $a\text{-Si:H}$ бором скорости протекания второго и третьего процесса возрастают, что может быть связано с увеличением скорости диффузии водорода [16], участвующего в данных процессах.

Автор выражает искреннюю благодарность проф. В. Фусу и д-ру Х. Меллу за предоставление образцов, обсуждение результатов и стимулирующие дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tanielian M. H., Goodman N. B., Fritzsche H. // *J. de Physique*. 1981. 42. Suppl. 10. P. C4-375. [2] Aker B., Fritzsche H. // *J. Appl. Phys.* 1983. 54. P. 6628. [3] Aker B., Peng S.-Q., Cai S., Fritzsche H. // *J. Non-Cryst. Solids*. 1983. 59&60. P. 509. [4] Jang J., Kim T. M., Hyum J. K., Yoon J. H., Lee C. // *J. Non-Cryst. Solids*. 1983. 59&60. T. 429. [5] Canguli G., Ray S., Barua A. K. // *Phil. Mag.* 1986. B54. P. 301. [6] Курова И. А., Мочалова Д. А., Лупачева А. Н. // *ФТП*. 1989. 23. С. 573. [7] Hamed H., Fritzsche H. // *Phil. Mag. Lett.* 1989. 60. P. 171. [8] Jang J., Park S. C., Kim S. C., Lee C. // *Appl. Phys. Lett.* 1987. 51. P. 1804. [9] Yamaguchi M., Fritzsche H. // *J. Appl. Phys.* 1984. 56. P. 2303. [10] Jin S., Aljishi S., Ley L. // *J. Non-Cryst. Solids*. 1991. 137&138. P. 327. [11] Siebke F., Beyer W., Herion J., Wagner H. // *Ibid.* P. 339. [12] Branz H. // *Phys. Rev.* 1988. B38. P. 7474. [13] Hamed A., Fritzsche H., Deng X.-M. et al. // *J. Non-Cryst. Solids*. 1991. 137&138. P. 287. [14] Stutzmann M., Jackson W. B., Tsai C. C. // *Phys. Rev.* 1985. B32. P. 23. [15] Greenbaum S. G., Carlos W. E., Taylor P. C. // *Solid State Commun.* 1982. 43. P. 663. [16] Beyer W., Herion J., Wagner H. // *J. Non-Cryst. Solids*. 1989. 114. P. 217.