## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Аксенов С. И. Связанная вода в дисперсных системах. М., 1980. [2] Федотов В. Д.//Молекулярная биология. 1983. 17. С. 493. [3] Абрагам А. Ядерный магнетизм. М., 1963. [4] Цветков В. Н., Эскин В. Е., Френкель С. Я. Структура макромолекул в растворах. М., 1964. [5] Вострикова Н. Г., Денисов В. П., Петрусевич Ю. М., Ревокатов О. П.//Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1986. 27, № 5. С. 76. [6] Вашман А. А., Пронин И. С. Ядерная магнитная релаксационная спектроскопия. М., 1986. [7] Тенфорд Ч. Физическая химия полимеров. М., 1965.

Поступила в редакцию 06.06.88

ВЕСТН. МОСК, УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1989. Т. 30, № 1

## ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 621.315.592

## о влиянии электрического поля на проводимость пленок a-Si: н с большим содержанием водорода

И. А. Курова, Е. Н. Понарина

(кафедра физики полупроводников)

Излагаются результаты исследования закономерностей обнаруженного в пленках  $a ext{-Si}: H$  увеличения проводимости в электрических полях E > 20 B/cm. Предложена модель эффекта.

Ранее нами сообщалось о наблюдении повышения проводимости пленки a-Si: Н с большим содержанием водорода и планарным расположением контактов в слабых электрических полях [1]. Было сделано предположение о том, что эффект обусловлен монополярной инжекцией, возникающей вследствие образования двойного слоя у катода в результате дрейфа нонов водорода. В настоящей работе приводятся результаты дополнительных исследований и модель этого эффекта.

Исследовались пленки a-Si: H толщиной 0,5—0,7 мкм, выращенные на стеклянных подложках в ВЧ тлеющем разряде и содержащие 20—30 ат. % водорода. Концентрация водорода рассчитывалась по поглощению пленки в ИК области спектра [2]. Ширина запрещенной зоны определялась экстраполицей до пересечения с осью абсцисс линейного участка зависимости величины  $(a\hbar\omega)^{1/2}$  от энергии фотонов  $\hbar\omega$  и составляла для исследованных пленок 1,8—1,9 эВ. Измерения проводились в вакууме порядка  $10^{-6}$  мм рт. ст. на образцах с планарным расположением контактов

из ÅÍ на расстоянии L=0,5-0,8 мм.

Ha рис. 1 показаны температурные зависимости темнового тока  $j_{\pi}(T)$  одной из исследованных пленок после отжига при 440 К и после предварительного освещения белым светом в течение разного времени. Кривые 1, 2, 3 соответствуют среднему электрическому полю в пленке  $E=v/L \leqslant 20$  В/см (состояние I). Для отожженных пленок энергия активации  $E_{\sigma}$  составляла около 0,67 эВ (кривая 1), т. е. была близка к обычным значениям энергии активации проводимости нелегированных пленок  $a ext{-Si}$ : :Н после отжига. Видно, что темновой ток пленок уменьшается, а  $E_\sigma$  возрастает до 0,87 эВ после предварительного освещения по мере увеличения его длительности (кривые 2, 3). Таким образом, наблюдается обычный эффект Стеблера—Вронского. При средней напряженности поля  $E{>}20~$  В/см пленка переходит в стационарное состояние (II), соответствующее большему значению тока. Время перехода зависит от температуры пленки. Поскольку при низких температурах времена перехода в состояние II очень велики, то измерение температурных зависимостей стационарного темнового тока при разных напряженностях поля проводилось после перевода пленки в состояние II при высоких температурах (кривые 4-6). Все приведенные зависимости  $j_{7}(T)$  воспроизводятся при многократном последующем нагревании и охлаждении пленки при постоянном напряжении. Это указывает на воспроизводимость и обратимость эффекта. Из рис. 1 видно, что в состоянии II ток тоже экспоненциально зависит от температуры. При этом энергия активации  $E_{\sigma}$ , соответствующая данному напряжению, уменьшается до 0,3 эВ по мере его увеличения. При уменьшении напряжения до  $E \leqslant 20$  В/см малая проводимость восстанавливается (переход в состояние I).

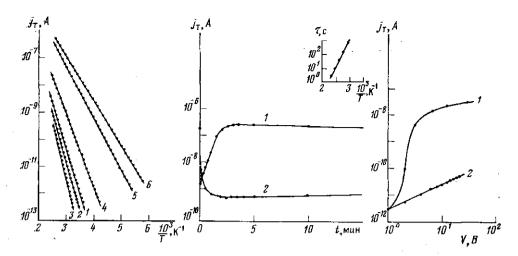


Рис. 1. Температурные зависимости темнового тока  $j_{\tau}(T)$  одной из исследованных пленок a-Si: Н. Кривые 1, 4-6— после отжига; кривые 2, 3— после предварительного освещения белым светом в течение 30 мин и 1 ч соответственно; E=12.5 (1-3), 60 (4), 100 (5) и 240 В/см (6). Энергия активации  $E_{\sigma}=0.67$  (1); 0.74 (2); 0.87 (3); 0.59 (4); 0.38 (5) и 0.3 (6)

Рис. 2. Кинетика изменения темнового тока  $j_{x}$  отожженной пленки a-Si: H при T= =380 K; кривая I — переход из состояния I (E=12,5 B/cм) в состояние II (E=150 B/cм), кривая 2 — обратный переход. На вставке показана температурная зависимость постоянной времени т экспоненциального участка кривой I

Рис. 3. Стационарная (1) и моментальная (2) вольт-амперные характеристики пленки  $a\text{-Si}: \mathbf{H}$  в состоянии II (T=280 K)

Исследование кинетики изменения тока при переходе пленки из состояния I в состояние II и обратно показало (рис. 2), что кинетика возрастания тока (кривая I) имеет быструю составляющую, близкую к экспоненциальной с постоянной времени  $\tau$ , и медленный хвост с малой амплитудой (<10%). Экспоненциальная температурная зависимость  $\tau$  с энергией активации  $E_{\tau} \approx 0.7$  эВ (вставка к рис. 2) определяет быстрое уменьшение времени перехода от 10 ч при комнатной температуре до 30 с при T=400 К. После переключения полярности напряжения ток восстанавливается по абсолютной величине за время порядка времени перехода из состояния I в состояние II, проходя через нуль и меняя знак на противоположный. Стационарные вольт-амперные характеристики пленок суперлинейны, а моментальные — личейны (рис. 3), причем переход от личейной зависимости к суперлинейной определяется временем перехода из состояния I в состояние II. После многократного пропускания тока при одной полярности напряжения было замечено, что с внутренией стороны катода образовалась узкая (<0.1 мм) ровная полоска отслоившегося металла. При этом, однако, во время измерений не было никаких отклонений в характеристиках пленки.

Подобный эффект увеличения проводимости в пленках a-Si: H на стеклянных подложках наблюдался в работе [3]. Но подробные исследования и обсуждения природы эффекта в работе отсутствуют. В работе [4] указывается на возможность легирования пленки a-Si: H диффузией щелочных ионов из стеклянных подложек.

На основании изложенного выше мы предлагаем модель, позволяющую описать наблюдаемые закономерности обнаруженного эффекта. В пленке a-Si: Н на границе со стеклянной подложкой есть обогащенный электронами слой, возникший из-за присутствия на поверхности подложки положительного заряда, обусловленного ионами щелочных металлов. Таким образом, пленка представляет собой  $n^+$ —n структуру с планарными контактами со стороны n-слоя и с  $n^+$ -слоем у подложки. В слабых полях ток определяется в основном высокоомными областями и энергия активации проводимости велика (0,67 эВ). При повышении напряжения электрическое поле в высокоомных областях под контактами возрастает и возникает инжекция из  $n^+$ -слоя в область под анодом. У катода в результате дрейфа ионов водорода (его много в наших пленках) происходит образование слоя положительного заряда, а следовательно, и слоя, обогащенного электронами. Это обусловливает возникновение инжекции из этого слоя в высокоомные области пленки. Проводимость возрастает с увеличением напря-

женности поля в этих областях. Время перехода из состояния I в состояние II в этой модели обусловлено временем образования объемного заряда у катода, связанным с временем генерации электронов, захваченных на локализованные состояния. Энергия активации  $E_{\tau}$  определяется глубиной залегания этих состояний в запрещенной зоне.

Таким образом, исследование закономерностей эффекта переключения в более высокопроводящее состояние пленки под влиянием электрического поля E>20 В/см, обнаруженного в пленках a-Si: H с высоким содержанием водорода, показало, что возможная модель эффекта должна включать дрейф ионов водорода к катоду, возникновение аккумуляционного  $n^+$ -слоя у катода и наличие  $n^+$ -слоя у стеклянной подложки. Эта структура пленки обусловливает инжекцию электронов в высокоомные области между контактами и подложкой и повышение проводимости пленок.

Выражаем благодарность И. П. Звягину за ценные советы при обсуждении

работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Курова И. А., Понарина Е. Н., Кириллов В. И., Спирин А. И.///Тез. докл. II Всесоюз. конф. «Структура и электронные свойства границ зерен в металлах и полупроводниках». Воронеж, 1987. С. 118. [2] Freeman E. C., Paul W.///Phys. Rev. 1978. В18, N. 8. Р. 4288. [3] Johnson G. O., McMillan J. A., Peterson E. M.//Tetrahedrally Bonded Amorphous Semicond. Cont., Carefree, Ariz., 1981. N. Y., 1981. P. 329. [4] Zhang D. H., Haneman D.//J. Appl. Phys. 1987. 62, N. 9. P. 3821.

Поступила в редакцию 29.06.88