

## АНАЛОГ ЭФФЕКТА СТЕБЛЕРА – ВРОНСКОГО В ПЛЕНКАХ a-Si:H ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В.С. Вавилов, И.А. Курова, Е.Н. Понарина

*Обнаружен эффект уменьшения темновой проводимости и фотопроводимости метастабильного состояния пленок a-Si:H под длительным воздействием электрического поля. Этот эффект – аналог эффекта Стеблера – Вронского – объясняется образованием оборванных связей в условиях инжекции, обусловленной возникновением поперечного поля.*

При освещении пленок a-Si:H белым светом наблюдается эффект Стеблера – Вронского – уменьшение темновой проводимости и фотопроводимости, обусловленное образованием оборванных связей, смещением уровня Ферми в глубь запрещенной зоны и уменьшением времени жизни неравновесных носителей /1/.

В данной работе исследовались пленки a-Si:H с концентрацией водорода 20 – 30 ат.%, выращенные расположением моносилана в ВЧ тлеющем разряде на стеклянных подложках. На поверхность пленок напылялись планарные контакты из алюминия в виде полос с расстоянием между ними  $L = 0,5$  мм. Исследования фотоэлектрических параметров проводились при давлении  $\sim 10^{-6}$  торр на отожженных при 470 К пленках a-Si:H.

В электрических полях  $\mathcal{E} = V/L < 20$  В/см при длительном освещении наблюдается обычный эффект Стеблера – Вронского. На рис. 1а показана кинетика фотопроводимости одной из исследованных пленок во время освещения белым светом мощностью  $100$  мВт/см<sup>2</sup> при  $T = 370$  К и электрическом поле  $\mathcal{E} = 20$  В/см. Видно, что фотопроводимость пленки уменьшается и через определенное время достигает насыщения, при котором сравниваются скорости образования и отжига оборванных связей /2/. На рис. 2 приведены температурные зависимости темновой проводимости исходной отожженной пленки (кривая 1) и той же пленки после насыщения фотопроводимости при освещении (кривая 2). Видно, что в результате освещения темновая проводимость тоже уменьшилась, а энергия ее активации увеличилась от  $E_{\sigma} = 0,8$  до  $0,87$  эВ.

При электрических полях  $\mathcal{E} > 20$  В/см в пленках возникает метастабильное состояние с высокой проводимостью, зависящей от величины  $\mathcal{E}$ . Кинетика темновой проводимости той же пленки при  $T = 370$  К и  $\mathcal{E} = 560$  В/см представлена на рис. 1б. Для определения параметров темновой проводимости пленки проведены измерения температурных зависимостей темновой проводимости  $\sigma_T(T)$  при том же электрическом поле после быстрого охлаждения пленки в соответствующие моменты времени  $t_3, t_4, t_5$  (рис. 2, кривые 3 – 5). Видно, что при длительном воздействии поля темновая проводимость метастабильного состояния уменьшается, а энергия ее активации увеличивается от  $E_{\sigma} = 0,24$  до  $0,3$  эВ. Фотопроводимость пленки, измеренная в моменты времени  $t_3, t_4, t_5$ , также уменьшается при увеличении времени воздействия электрического поля. Таким образом, наблюдается аналог эффекта Стеблера – Вронского – электрическое поле  $\mathcal{E} > 20$  В/см уменьшает темновую проводимость и фотопроводимость пленки в метастабильном состоянии, увеличивает энергию активации проводимости, то есть смещает квазиуровень Ферми в глубь запрещенной зоны в зависимости от длительности воздействия поля.

Подобный эффект воздействия электрического поля наблюдался в pnp-сверхрешетках на основе a-Si:H с планарным расположением контактов /3/. В этой работе возникновение метастабильного состояния с повышенной проводимостью объяснялось образованием объемного заряда на границах слоев с разной проводимостью и инжекцией неравновесных носителей в сильном электрическом поле, обусловленном этим объемным зарядом. При рекомбинации инжектированных носителей происходит образование оборванных связей и уменьшение проводимости сверхрешетки в метастабильном состоянии с течением времени.

Можно предложить качественное объяснение наблюдаемых эффектов. Исследованные пленки a-Si:H структурно неоднородны из-за большой концентрации водорода и возможного влияния стеклянной подложки на рост пленки /4/. При повышении напряжения на пленке в областях неоднородностей возникает попе-

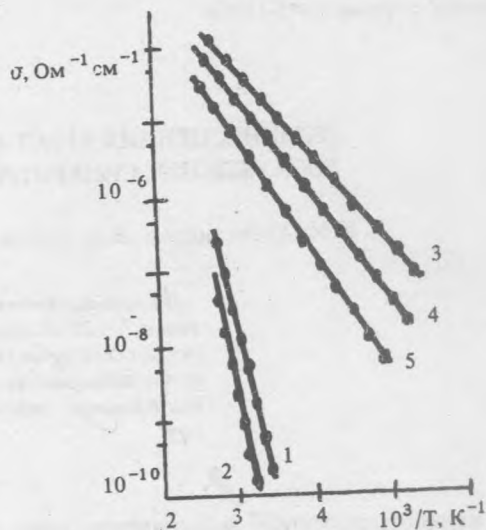
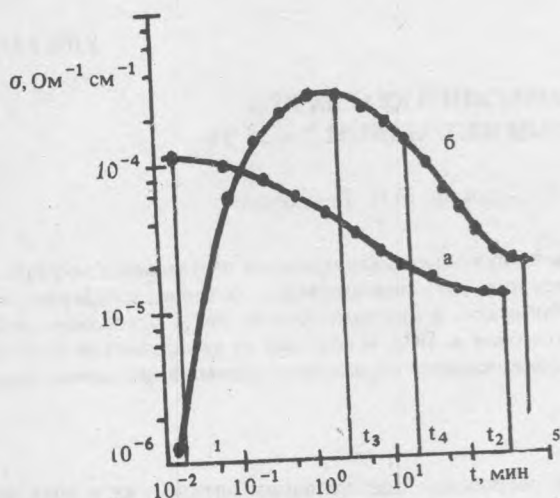


Рис. 1. Кинетика фотопроводимости пленки a-Si:H (кривая а) под воздействием освещения белым светом  $W = 100 \text{ мВт/см}^2$  при  $\mathcal{E} = 20 \text{ В/см}$  и кинетика темновой проводимости той же пленки (кривая б) под воздействием электрического поля  $\mathcal{E} = 560 \text{ В/см}$  при  $T = 370 \text{ К}$ .

Рис. 2. Температурные зависимости темновой проводимости  $\sigma_T(T)$  пленки a-Si:H, измеренные после воздействия белым светом и электрическим полем в моменты времени  $t_1 - t_5$  (рис. 1).

речная составляющая электрического поля, которая обуславливается объемными зарядами в этих областях. Такие заряды могут быть образованы не только электронами, но и ионами водорода в результате их движения в сильном электрическом поле. На это указывают следующие данные. Время образования метастабильного состояния с повышенной проводимостью в пленках  $\tau$  велико и экспоненциально зависит от температуры с энергией активации  $E_\tau \approx 0,77 \text{ эВ}$  в интервале температур  $310 - 390 \text{ К}$ . Значение  $E_\tau$  совпадает с энергией активации времени установления равновесного состояния в пленках a-Si:H, которое определяется скоростью диффузии водорода [5].

Мы предполагаем, что повышенная проводимость в исследованных пленках возникает в результате инжекции носителей в областях неоднородностей с сильным электрическим полем. Рекомбинация инжектированных носителей ведет к образованию оборванных связей, что обуславливает наблюдаемое уменьшение темновой проводимости и фотопроводимости пленки в метастабильном состоянии вследствие смещения квазиуровня Ферми в глубь запрещенной зоны и уменьшения времени жизни носителей тока. Установление стационарной величины повышенной темновой проводимости в электрическом поле  $\mathcal{E} > 20 \text{ В/см}$  (рис. 1 кривая б) происходит в результате уравнивания процессов образования и отжига оборванных связей, индуцированных полем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Staebler D. L., Wronski C. R. Appl. Phys. Lett., 31, 292 (1977).
2. Stutzmann M., Jackson W. B., Tsai C. C. Phys. Rev. B, 32, 23 (1985).
3. Yoo B. - S. et al. Abstract on 4 th Int. Conf. "Superlattices, microstructures and microdevices". Triest, 1988.
4. Физика гидрогенизированного аморфного кремния. Под ред. Дж. Джоунопулоса и Дж. Люковски. Вып. 1. М., Мир, 1988.
5. Street R. A. et al. Phys. Rev. B, 35, 1316 (1987).

Поступила в редакцию 22 декабря 1988 г.