

**СПЕКТРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ  
ФОТОПРОВОДИМОСТИ В ПЛЕНКАХ  $\alpha$ -Si<sub>0,80</sub>Ge<sub>0,20</sub>:H<sub>x</sub>**

**Б.А.НАДЖАФОВ**

*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана*

*В работе рассматриваются фотопроводимости гидрогенизированных аморфных плёнок твёрдого раствора  $\alpha$ -Si<sub>0,80</sub>Ge<sub>0,20</sub>:H<sub>x</sub> (x=1,7; 3,9; 7,1; 12,1; 17,3 ат. %), полученных методом плазмохимического осаждения с толщиной плёнок ~1 мкм. Измерение фотопроводимости проводилось в интервале 1,0÷2,8 эВ. На основании полученных результатов предполагается, что фототок в указанном интервале линейно зависит от интенсивности освещения, а рекомбинация частиц происходит из более глубоких рекомбинационных центров и подчиняется закону  $i_{\Phi} = AF^{\gamma}$ , где  $\gamma = 1$ . Показано, что с изменением концентрации водорода (x) произведение параметров  $\gamma$  и  $t$  изменяются в диапазоне  $10^7 \div 10^{-5}$  см<sup>2</sup>В<sup>-1</sup>.*

В настоящее время интенсивно изучаются аморфные гидрогенизированные плёнки твёрдых растворов составов  $\alpha$ -Si<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>:H,  $\alpha$ -Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H,  $\alpha$ -Ge<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H,  $\alpha$ -Si<sub>1-x</sub>O<sub>x</sub>:H, а также  $\alpha$ -Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>:H. В полупроводниковой электронике к гидрогенизированным аморфным твердым растворам системы германий-кремний ( $\alpha$ -Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>1-x</sub>:H) проявляется больший интерес, чем к названным другим аморфным материалам [1].

Гидрогенизированные пленки  $\alpha$ -Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>:H по сравнению с  $\alpha$ -Si:H имеют меньшую ширину запрещенной зоны, а следовательно и лучшие оптоэлектронные свойства в длинноволновой части видимого спектра, а также являются термодинамически более стабильными и радиационно-стойкими [1]. Это позволяет использовать их для создания солнечных элементов [2,3]. Среди материалов  $\alpha$ -Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> составы с  $x \leq 0,2$  считаются наиболее стабильными для создания солнечных элементов. Поэтому исследованный в данной работе состав  $\alpha$ -Si<sub>0,80</sub>Ge<sub>0,20</sub>:H представляет интерес для практического использования в приборах фотоэлементов. Изучению фотопроводимости гидрогенизированных аморфных пленок Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> посвящен ряд работ [4,5]. В настоящей работе исследуется влияние концентраций водорода на фотопроводимости гидрогенизированных аморфных пленок твердых растворов  $\alpha$ -Si<sub>0,80</sub>Ge<sub>0,20</sub>:H<sub>x</sub>, (где x – количество водорода в ат.%) и изменение ее параметров.

Гидрогенизированные аморфные плёнки твёрдого раствора а-

$\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}_x$  (где  $x=1,7,3,9,7,1,12,1,17,3$  ат%) были получены методом плазмохимического осаждения с толщиной плёнок  $\sim 1\text{мкм}$ , при температуре подложки  $T_s = 180^\circ\text{C}$ , скорость осаждения материала на подложку была  $\sim 3\text{Å/с}$ , а расстояние между мишенью и подложкой  $L \approx 25\text{см}$ . Выращивание плёнок проводилось в течение 1 часа. Мишенью служили пластинки кристаллического сплава  $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}$  диаметром 60-63мм. Осаждение материала на подложку проводилось в атмосфере водорода при различных парциальных давлениях. На основе проведенных исследований определены оптимальные режимы распыления. Процесс распыления проводился в водородной плазменной среде, которая была получена с помощью магнетрона и высокочастотного поля (ВЧ). Электронографические исследования структуры пленок, осажденных при вышеуказанных режимах, показали, что плёнки без отжига, а также отожженные до температуры  $250^\circ\text{C}$ , являются аморфными.

Измерение фотопроводимости проводилось в интервале  $1,0 \div 2,8$  эВ и для оптического возбуждения использовалась галогеновая лампа с соответствующими фильтрами. Изменение фототока в интервале  $1,0 \div 2,8$  эВ рассчитывалось с помощью следующей формулы [6,7] :

$$i_\phi = (eN_0\nu\tau/t_t)(1-R)\exp(-\alpha d) \quad (1)$$

где  $N_0$  - число падающих фотонов во всех длинах волн,  $R$ -коэффициент отражения,  $d$ - толщина пленки ( $d=1\text{мкм}$ ),  $\nu$  - квантовый выход,  $\tau$ - рекомбинационное время жизни,  $t_t$ -время пролета носителей заряда,  $t_t=d/E\mu = d^2/V\mu$ ,  $\mu$  - дрейфовая подвижность  $V$   $0,5 \div 50\text{см}^2/\text{В.с}$  или подвижность заряда под действием поля  $E$  ( $E=10^4$  В/см) при комнатной температуре,  $V$ -приложенное напряжение,  $\nu$ - характеристика эффективности процесса генерации, которая определяется соотношением  $\tau/t_t$  и числом образующихся электронно-дырочных пар при поглощении фотонов (в нашем случае она близка к единице  $\nu \approx 1$ ). Рекомбинационное время жизни ( $\tau$ ) и время пролета носителей заряда ( $t_t$ ) определяли с помощью электронного осциллографа, соответственно, по прямоугольной и экспоненциальной части сигнала тока, возникающего после освещения пленки импульсом света. Найдено, что с изменением концентрации водорода ( $x$ ) произведение параметров  $\nu\mu\tau$  ( $\nu$ - квантовый выход,  $\mu$ - дрейфовая подвижность,  $\tau$ - рекомбинационное время жизни электронов) изменяется в диапазоне  $10^{-7} \div 10^{-5}\text{см}^2\text{В}^{-1}$ . Нами показано, что ширина запрещенной зоны ( $E_g$ ) изменяется в пределах  $1,50$ - $1,72$  эВ. Коэффициент оптического поглощения ( $\alpha$ ) во всех исследуемых пленках достигает величины -  $8 \cdot 10^4 \text{см}^{-1}$  [8].

На основании полученных результатов предполагается, что фототок в интервале энергий фотона  $1,0$ - $2,8$  эВ линейно зависит от интенсивности освещения, а рекомбинация частиц происходит из более глубоких рекомбинационных центров и подчиняется закону:

$$i_\phi = AF^\gamma \quad (2),$$

при  $\gamma=1$  [3],  $F$  – поток фотонов, падающих на единицу поверхности ( $\text{см}^2$ ) в секунду. Поток фотонов в интервале всех длин волн равняется  $5 \cdot 10^{12}\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$ .

Предполагаем, что для данного интервала длин волн  $N_0 \approx F$ . Ясно, что для определения коэффициента пропорциональности  $A$  используются области спектров слабого поглощения, где произведение  $\nu\mu$  не зависит от энергии фотонов. В данном случае значение  $A$  равно единице. Отметим, что для образцов с энергией фотонов выше 1,2-1,5эВ в области спектра слабого поглощения значение  $i_\phi/(eN_0)(1-R)$  приближается к значению  $(\alpha d\nu\tau)/t_t$ ,  $i_\phi/(eN_0)(1-R) \approx (\alpha d\nu\tau)/t_t$ .

Перенос электронов в пленках описывается методом эффекта поля по модели Спира [6]. На рис.1 показана зависимость положения фотоответов пленки при комнатной температуре как функция энергии фотона при различных концентрациях водорода.

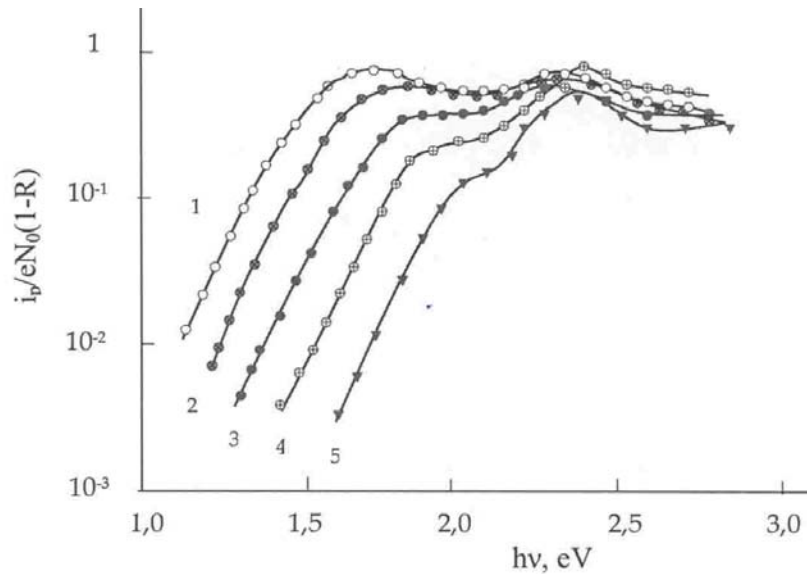


Рис.1.Спектральная зависимость фотопроводимости от энергии фотона в пленках  $a\text{-Si}_{0.80}\text{Ge}_{0.20}\text{:H}_x$ ; (x, ат.%; 1- 1,7; 2- 3,9; 3- 7,1; 4- 12,1; 5- 17,3)

Из рис.1 видно, что эффективность генерации электронов с изменением концентрации водорода не изменяется и, следовательно, в пленках, полученных указанным методом при концентрации водорода от 1,7 до 17,3ат%, квантовые выходы ( $\nu$ ) остаются постоянными. Также видно, что вблизи энергии фотона 2,3 эВ все кривые пересекают друг друга и приближаются к единице с повышением энергии фотона, которое связано с повышением эффективности генерации электронов в материале.

В зависимости от концентрации водорода  $x$  граница фотопроводимости располагается в пределах 1,0-1,5 эВ и смещение этой границы связано с увеличением ширины щели  $E_c-E_v$  и возбуждением уровня Ферми (который сдвигается с изменением концентрации H).

Плато на рисунке для всех исследуемых образцов в интервале 1,6-2,1 эВ интерпретируется как следствие максимума плотности состояний ( $E_g$ ), а последующий рост фотопроводимости обуславливается переходами из зоны в зону.

На основании полученных результатов можно сказать, что с изменением концентрации водорода ( $x$ ) произведение параметров  $\nu_{\text{пл}}$  изменяется в диапазоне  $10^{-7} \div 10^{-5}$   $\text{см} \cdot \text{В}^{-1}$  и величина  $\gamma$  остается постоянной.

Однако в зависимости от  $x$  граница фотопроводимости, уровень энергии фотона и ширина щели  $E_c - E_v$  расширяются.

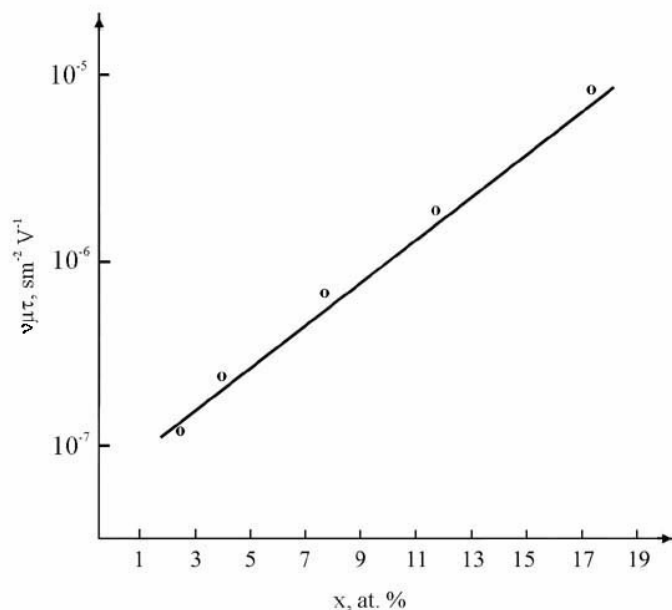


Рис.2. Зависимость величины  $\nu_{\text{пл}}$  от количества водорода  $x$  (где  $x$ , ат.%; 1- 1,7; 2- 3,9; 3- 7,1; 4- 12,1; 5- 17,3)

На рис. 2 показана зависимость произведения параметров  $\nu_{\text{пл}}$  от количества водорода  $x$ . Аналогичное соотношение наблюдается и для других составов пленки  $\alpha\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ .

Это показывает, что водород в пленке играет основную и важную роль.

Полученные параметры пленок дают возможность для создания солнечных элементов на основе аморфного  $\alpha\text{-Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}\text{:H}_x$ [9,10].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sherchenkov A.A. Spectral photosensitivity of  $\alpha\text{-SiGe:H/c-Si}$  heterostructures semiconductors. 2003, v.37(7), p.763 -765.

2. Najafov B.A. Absorption, photoconductivity and current-voltaic characteristics of amorphous  $\text{Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}:\text{H}_x$ . Solid Solution. Ukr. Jour. Of Phys., 2000, V.45, № 10, P.1221-1224.
3. Weisz S.Z., Gomez M., Muir Y.A., Resto O., Perez R. Reactively sputtered a- $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x:\text{H}$  alloys with compositional gradient in plane of film. Appl. Phys. Lett, 1984., V.44 (6), p.634-636.
4. Rudder R.A., Cook J.W., and Lucovsky G. High photoconductivity in dual magnetron sputtered amorphous hydrogenated silicon and germanium alloy films. Appl. Phys. Lett. 1984, № 45(8), P.887- 889.
5. Наджафов Б.А. Фотопроводимость аморфных пленок  $\text{Ge}_{0,75}\text{Si}_{0,25}:\text{H}$ . Материалы докладов VIII координационного совещания по исследованию и применения сплавов кремний –германий. Ташкент. ФАН. P.11, 1991.
6. Loveland R.I., Spear W.E. and A.Al-Sharbaty. Photo- conductivity and absorption of a Si-H. Jour. of Non-Crystalline Solids, (1973/74), 13, p. 55-68.
7. Наджафов Б.А., Мурсакулов Н.Н. Фотопроводимость аморфных пленок  $\text{Ge}_{0,85}\text{Si}_{0,15}:\text{H}$  Физика электронных материалов Материалы Международной конференции 2000 г. Калуга, Россия, с.136.
8. Наджафов Б.А., Исаков Г.И. Фотопроводимость аморфных пленок a- $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}_x$  для солнечных элементов. Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология, 2005, №2, с.27-29.
9. Наджафов Б.А., Исаков Г.И. Преобразователи солнечной энергии на основе аморфных пленок a- $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}$ . Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология, 2004, №6, с.26-31.
10. Наджафов Б.А., Исаков Г.И. Фотовольтаические эффекты в аморфных пленках a- $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}_x$ . Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология, 2005, №3, с.47-51.

## **a – $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}_x$ AMORF TƏBƏQƏSİNDƏ FOTOKEÇİRİCİLİYİN SPEKTRAL ASILILIĞI**

**B.A.NƏCƏFƏV**

### **XÜLASƏ**

Məqalədə qalınlığı 1 mkm olan plazma – kimyəvi metodla alınmış nazik təbəqəli hidrogenləşmiş bərk məhlulun amorf təbəqəsinin a- $\text{Si}_{0,80}\text{Ge}_{0,20}:\text{H}_x$  (x=1,7; 3,9; 7,1; 12,1; 17,3 at.%) fotokeçiriciliyinə baxılmışdır. Alınan nəticələr əsasında fərz edilmişdir ki, fotokeçiriciliyin 1,0÷2,8 eV enerji intervalında qiyməti işığın intensivliyindən xətti asılıdır, zərrəciyin rekombinasiyası daha dərin rekombinasiya mərkəzlərində baş verir və  $i_f = AF^\gamma$  qanunu ilə dəyişir, harada ki  $\gamma = 1$ -dir.

Müəyyən edilmişdir ki, hidrogenin konsentrasiyasından (x) asılı olaraq  $\gamma$  parametri  $10^{-7} \div 10^{-5} \text{ sm}^2\text{V}^{-1}$  diapazonda dəyişir.

**SPECTRUM DEPENDENCE OF PHOTOCONDUCTIVITY  
IN a-Si<sub>0.80</sub>Ge<sub>0.20</sub>:H<sub>x</sub> FILMS**

**B.A.NAJAFOV**

**SUMMARY**

In the paper, the photo-conductivities of hydrogenated amorphous films of a-Si<sub>0.80</sub>Ge<sub>0.20</sub>:H<sub>x</sub> (where x =1,7; 3,9; 7,1; 12;1;17;3 at%) solid solution fabricated by plasm-chemical deposition method have been considered and the photo conductivity's studies measured in the diapason of 1,0-2,8 eV have been carried out. It is revealed that depending on x,  $\nu\mu\tau$  magnitude is varied in the range of  $10^7$ - $10^5$  cm<sup>2</sup>.V<sup>-1</sup> and  $\gamma$  remains constant and it equals to 1.