

КРАЙ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В ПЛЕНКАХ  $\alpha\text{-Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}\text{:H}_x$ 

Б.А НАДЖАФОВ, С.М. НАДЖАФОВ

Сектор Радиационных Исследований АН Азербайджана

Баку, 370143, пр. Г. Джавида, 31<sup>а</sup>

На основе экспериментального исследования края оптического поглощения пленок  $\alpha\text{-Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}\text{:H}_x$  ( $x=1,3+23,7$  ат.%), выращенных плазмо-химическим методом, определена зависимость оптической ширины запрещенной зоны материала ( $E_g$ ) от концентрации водорода. Установлено, что в указанном интервале концентрации водорода в материале величина  $E_g$  линейно зависит от  $x$  и описывается соотношением  $E_g=(0,73+0,018x)$  эВ.

В последние годы в фотоэнергетике проявляется большой интерес к аморфным твердым растворам германия с кремнием. Это в основном вызвано перспективностью их использования в полупроводниковой электронике.

Гидрогенизированные аморфные твердые растворы (Ge-Si):H обладают оптимальной шириной запрещенной зоны (1,1+1,85 эВ) для преобразования солнечной энергии в электрическую и лучшими оптоэлектронными свойствами в длинноволновой части видимого спектра, а также являются термодинамически более стабильными и радиационно стойкими по отношению к другим аморфным материалам. Это позволяет использовать их для создания солнечных элементов [1-3]. Имеется ряд работ [4-6], посвященных изучению оптических свойств гидрогенизированных аморфных пленок (Ge-Si):H<sub>x</sub>. Однако, составы с малым содержанием кремния слабо изучены. Настоящая работа посвящена исследованию влияния гидрогенизации на край оптического поглощения аморфных пленок  $\text{Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}\text{:H}_x$  с целью установления закономерности изменения эффективной ширины запрещенной зоны от концентрации водорода в материале. Известно, что аморфные пленки Ge, Si и их твердые растворы без гидрогенизации обладают довольно высокой плотностью энергетических состояний в запрещенной зоне и не представляют интерес, как с научной, так и с практической стороны.

Пленки  $\alpha\text{-Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}\text{:H}$  были получены методом плазмо-химического осаждения (на базе физико-технического института имени А.Ф.Иоффе РАН). Мишенью служили пластинки кристаллического сплава  $\text{Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}$  диаметром 60-63 мм. Осаждение материала на подложку производили в атмосфере водорода при различных давлениях. На основе проведенных исследований определен оптимальный режим распыления и гидрогенизации материала. При этом температура подложки (NaCl) составляла 420°K, скорость осаждения материала на подложку  $v_{oc} \sim 0,3+0,5$  Å/c, расстояние между мишенью и подложкой  $l \approx 25$  см. Нарастивание пленок производилось примерно в течение одного часа. Аморфность пленок  $\text{Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}\text{:H}$  контролировалась электронографическими исследованиями. Толщина пленок  $\alpha\text{-Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}\text{:H}_x$  составляла, 5-1,0 мкм и определялась интерференционным методом [7]. Концентрация водорода в пленках вычислялась методом эффузии и с помощью спектров ИК-поглощения [8,9] и составляла от 1,3 до 23,7 ат. %.

Эксперименты по определению спектров поглощения пленок проводились с помощью спектрофотометра ИКС-

21 в области энергии 0,5+1,65 эВ при вакууме  $10^{-3}$  Торр. Коэффициент оптического поглощения пленок рассчитывался из экспериментально определенных значений коэффициента отражения и пропускания излучения в условиях падения светового пучка близкого к нормали с поверхности образцов. В расчетах использовалась следующая формула [10,11]:

$$T = (1-R)^2 e^{-\alpha d} / (1-R^2 e^{-2\alpha d}) \quad (1)$$

где  $T$  - коэффициент пропускания,  $R$  - коэффициент отражения,  $d$  - толщина пленки и  $\alpha$  - коэффициент поглощения. Отметим, что в зависимости от концентрации водорода в пленках величина  $\alpha$  в исследованной области спектра, достигает  $10^4$  см<sup>-1</sup>.

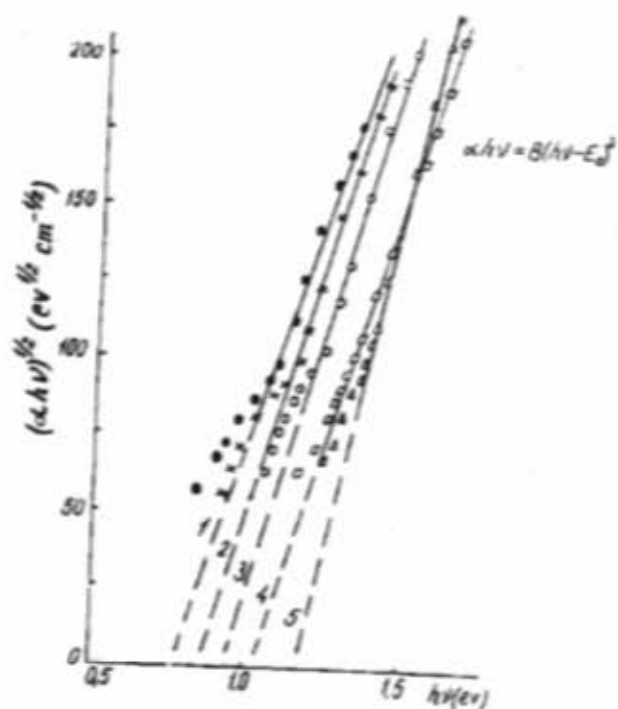


Рис.1. Зависимость  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  от энергии фотона  $h\nu$  в аморфных пленках  $\text{Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}\text{:H}_x$   $x$  (ат.%)=1,3(1), 5,1(2), 8,7(3), 14,2(4) и 23,7(5).

Для определения края оптического поглощения пленок  $\alpha\text{-Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}$  с различной концентрацией водорода были построены зависимости  $(\alpha h\nu)^{1/2}$  от  $h\nu$  [12-14]. На рис.1 представлен типичный ход этих кривых для пяти

пленок с различным содержанием водорода. Как видно для всех образцов в коротковолновой части спектра, полученные данные хорошо укладываются на прямые, которые описываются соотношением  $\alpha h\nu = B(h\nu - E_0)^2$ . Здесь  $E_0$  - оптическая ширина запрещенной зоны,  $B$  - коэффициент пропорциональности, постоянные для каждого образца. Значения  $B$ , определенные экстраполяцией представленных зависимостей в длинноволновую часть спектра составляют от 372 до 513 эВ<sup>2</sup>см<sup>-1/2</sup>. С увеличением концентрации водорода в образцах от 1,3 до 23,7 ат.% край оптического поглощения пленок  $\alpha\text{-Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}$  растет от 0,76 до 1,17 эВ. Как видно из рис.1, при энергиях фотонов ниже значения оптической ширины запрещенной зоны ( $E_0$ ) имеет место отклонение от линейной зависимости. В этой области спектра поглощение пленок обусловлено возбуждением дефектных состояний, находящихся глубоко в запрещенной зоне.

Рис.2 демонстрирует зависимость оптической ширины запрещенной зоны гидрогенизированных пленок  $\alpha\text{-Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}$  от концентрации водорода. Значение  $E_0$  определялось на основе данных рис.1. Как видно экспериментально определенные значения  $E_0$  достаточно хорошо укладываются на прямую и описываются соотношением

$$E_0 = (0,73 + 0,018C_H) \text{ эВ} \quad (2)$$

где  $C_H$  - концентрация водорода в ат.%. Вопросы влияния степени гидрогенизации на край фундаментального поглощения в аморфных пленках кремния были предметом исследований многих авторов (см., например [15,16]). Установлено, что в пленках  $\alpha\text{-Si}$ , выращенных с использованием технологий, обеспечивающих воспроизводимость физических свойств материала, также наблюдается линейная зависимость между  $E_0$  и концентрацией водорода. В работах [17,15] найденная зависимость описыва-

ется уравнением  $E_0 = (1,50 + 0,019C_H) \text{ эВ}$  при концентрации водорода до 30 ат.%.

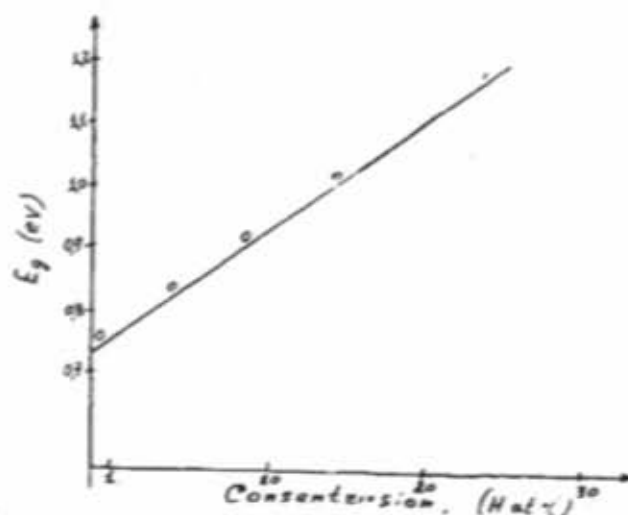


Рис.2. Зависимость оптической ширины зоны от содержания водорода в образцах  $\alpha\text{-Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}\text{-H}$ .

Полученное в настоящей работе соотношение (2) для пленок  $\alpha\text{-Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}\text{-H}_x$  (до 23,7 ат.% H), свидетельствующее о линейной зависимости  $E_0$  от  $C_H$ , согласуется с литературными данными по  $\alpha\text{-Si:H}_x$ . Такой характер изменения  $E_0$  от  $C_H$  в образцах  $\alpha\text{-Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}$  указывает также на возможность получения пленок системы Ge-Si с воспроизводимыми свойствами использованным нами методом плазмо-химического осаждения.

Резюмируя вышесказанное, можно сделать следующее заключение. В пленках  $\alpha\text{-Ge}_{0,90}\text{Si}_{0,10}\text{-H}_x$ , выращенных плазмо-химическим методом, имеет место линейная зависимость оптической ширины запрещенной зоны материала от концентрации водорода как и в  $\alpha\text{-Si:H}_x$  ( $x \leq 30$  ат.%).

- [1] G. Nakamura, K. Sato, Y. Yakimoto, K. Shironata, J. Murahashi and K. Fujiwara. Japan J. Appl. Phys., 1981, v. 20, Supplement 20-1, p. 291-296.
- [2] K.W. Mitchell, Y.A. Slujg and Y. Grosvenor. Proc. 18th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., Las Vegas (Nevada) October 21 to 25, 1985, New York, 1985, p. 894.
- [3] R. Dutta, P.K. Banerjee and S.S. Mitra. J. Non-Crystall. Solids, 1983, v. 55, p. 149.
- [4] V.D. Nguyen, H.D. Tran and Y. Lemy. Japan J. Appl. Phys., 1981, v. 52 (1), p. 338-341.
- [5] R.K. Banerjee, R. Dutta, S.S. Mitra and D.K. Paul. Journal of Non Crystalline Solids, 1982, v. 50, p. 1-11.
- [6] B.A. Nadjafov, M. Ya. Bakirov and V.S. Mamedov. Phys. Stat. Sol., 1991, (a) 123 p. 67.
- [7] A.V. Rekov. Spectrophotometry of thin Film Semiconductors Structures, Moscow, 1975, p. 175 (in Russian).
- [8] Y. Catherine and G. Turban. Thin Solid Films, 1980, v. 70, p. 101-104.
- [9] H. Shanks, C.J. Fang, L. Ley, M. Cardona, F.J. De-mond and S. Kalbitzer. Phys. Stat. Sol., 1980 (b) 100 p. 43.
- [10] M.H. Brodsky, R.S. Title and G.D. Petit. Phys. Rev., 1970, B1, p. 2632  
M.H. Brodsky and R.J. Gambino. J. Non-Crystalline Solids, 1972, v. 8-10, p. 739.
- [11] J. Tauc, R. Grigorovici and A. Vancu. Phys., Stat. Sol., 1968, 15, p. 627.
- [12] N.H. Brodsky. Thin Solid Films, 1978, v. 50, p. 57.
- [13] S. Oguz, D.A. Anderson, W. Paul, H.J. Stein. Phys. Rev., 1980, B22, p. 88.
- [14] G.A.N. Cannell, J.P. Pawlik. Phys. Rev., 1978, B13, p. 787.
- [15] G.D. Cody, B. Abeles, C.R. Wronski, R.B. Stephens, B. Brooks. Sol. Cells, 1980, v. 2, p. 227.
- [16] C.C. Tsai, M. Fritzsche. Sol. Energy Mat., 1979, v. 1, p. 11.
- [17] J.D. Joannopoulos and G. Lucovsky. The Physics of Hydrogenated Amorphous Silicon II., Electronic and Vibrational Properties., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1984, p. 447.

**B.A. Nəcəfov, S.M. Nəcəfov**

**$\alpha$ -Ge<sub>0,96</sub>Si<sub>0,10</sub>H<sub>x</sub> TƏBƏQƏSİNİN OPTİK UDULMA SƏRHƏDDİ**

Eksperimental tədqiqat əsasında plazma-kimyəvi metodla hazırlanmış  $\alpha$ -Ge<sub>0,96</sub>Si<sub>0,10</sub>H<sub>x</sub> ( $x=1,3+23,7$  at.%) optik udulma sərhəddi materialın qadağan olunmuş zonasının ( $E_g$ ) hidrogenin konsentrasiyasından asılılığı öyrənilmişdir. Hidrogenin konsentrasiyasının göstərilən intervalında materialın  $E_g$  kəmiyyəti  $x$ -dən xətti asılıdır və  $E_g=(0,73+0,018 x)$  eV münasibətlə müəyyən olunur.

**B.A. Najafov, S.M. Najafov**

**OPTICAL ABSORPTION EDGE IN  $\alpha$ -Ge<sub>0,96</sub>Si<sub>0,10</sub>H<sub>x</sub> FILMS**

Based on the experimental studies of the optical absorption edge  $\alpha$ -Ge<sub>0,96</sub>Si<sub>0,10</sub>H<sub>x</sub> ( $x=1,3+23,7$  at.%) in films grown by the plasma-chemical method, the dependence of optical band gap of material ( $E_g$ ) on hydrogen concentration has been determined. It has been found that in the given hydrogen concentration region the  $E_g$  value depends linearly on  $x$  and is described by the relationship  $E_g=(0,73+0,018 x)$  eV.

*Дата поступления: 05.05.97*

*Редактор: Б.Г. Тагиев*