

А.М. Андрейко, Ю.М. Білинський, Ф.М. Гончар  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра фізики

## СТРУКТУРА ТА ДЕЯКІ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АМОРФНИХ І КРИСТАЛІЧНИХ ПЛІВОК СЕЛЕНІДУ РТУТІ

© Андрейко А.М., Білинський Ю.М., Гончар Ф.М., 2005

Було винайдено аморфні та кристалічні плівки HgSe завтовшки 1000 Å. У кристалічному зразку визначити ширину забороненої зони 0.2 eV, концентрацію і рухливість носіїв. В аморфних зразках визначити ширину забороненої зони 1 eV. При температурі рідкого азоту зразки володіють лише p-провідністю, тоді як при температурах, вищих від температури рідкого азоту – лише n-провідністю. Структуру аморфного HgSe вивчали електронграфічно, і було показано, що координаційне число не змінюється з переходом з аморфного в кристалічний стан. В аморфних зразках було також визначено середньоквадратичне зміщення атомів.

Amorphous and monocrystal films of HgSe compound with thickness of 1000 Å were investigated. In crystal sample it was determined the forbidden gap (0,2 eV), concentration and mobility of carriers. In amorphous samples it was determined the forbidden gap (1 eV). At liquid nitrogen temperature the samples possess only the p-type conductivity while a temperature higher the one of liquid nitrogen – only the n-type conductivity. The structure of amorphous HgSe was investigated electronographically and it was shown that coordination number does not change with transition from amorphous into crystal state. In amorphous samples it was also determined the average square atom shift.

Сполука HgSe в кристалічному стані володіє кубічною структурою сфалериту з постійною решітки  $a = (6,09 \pm 0,03) \text{ \AA}$ . [3]. Що стосується його структури в аморфному стані, то робіт, присвячених цьому питанню, не було знайдено. Так як HgSe при термічному випаровуванні повністю або частково дисоціює [1, 4], то зразки для досліджень виготовляли методом дискретного напилення, що забезпечило одержання плівок стехіометричного складу.

Стехіометрію перевіряли за електронограмами від закристалізованих зразків. Шари товщиною від 200 до 1000 Å напилювались на свіжі сколи слюди. Аморфні плівки були отримані внаслідок напилення вихідного матеріалу на підкладку при кімнатній температурі. Електронограми знімали на електронграфі ЕГ-100 Å з використанням обертового сектора, кут розкриття якого зростав за законом  $1/\sum f_k^2(s)$ . Це дозволило значно підвищити точність визначення інтенсивності далекокутового розсіювання.

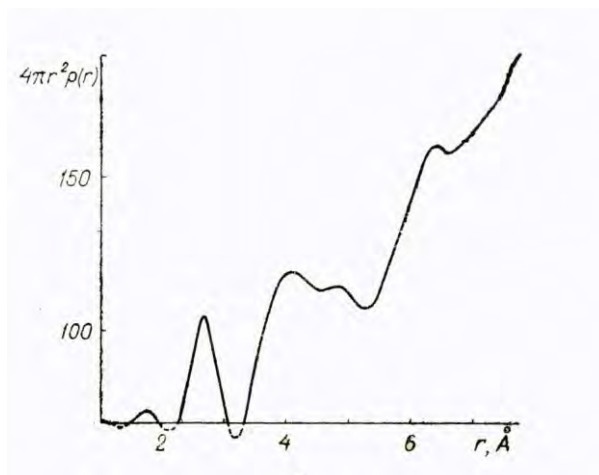


Рис. 1. Крива радіального розподілу для аморфної плівки HgSe

За мікрофотографіями, які отримали на мікрофотометрі, були визначені функції  $I_e(s)/\sum_k f_k^2(s)$  і, відповідно, інтерференційні функції  $i(s)$  [6]. Нормування функцій  $i(s)$  здійснювали згідно з [8].

Криві радіального розподілу (КРР) (рис. 1) обраховувались при  $\Delta r=0.05\text{Å}$  і  $\Delta s=0.1\text{Å}^{-1}$  за формулою

$$4\pi r^2 \rho(r) = \sum_i \sum_j K_i K_j 4\pi r^2 \rho_{ij}(r) = 4\pi r^2 \rho_0 (\sum K_j)^2 = \frac{2r}{\pi} \sum K_j^2 \int_0^\infty s \cdot i(s) \sin(sr) ds, \quad (1)$$

де  $K_i$  та  $K_j$  – відносні розсіювальні здатності атомів Hg і Se, що дорівнюють  $K_{\text{Hg}}=1.89$ ;  $K_{\text{Se}}=1$ ;  $\rho_0$  – середня густина молекул, що дорівнює  $0,018\text{ мол/Å}^3$ .

З отриманих КРР визначались міжатомні відстані, площа під координаційними піками (КП) та їх півширина. Площа під першим КП на КРР, в якій враховано поправку на ефект обриву [2], дорівнює 15,5 од. Радіуси першої та другої координаційних сфер дорівнюють, відповідно,  $r_1=2.64\text{Å}$ ,  $r_2=4.1\text{Å}$ .

Значення площі під КП встановлювали також за графіками залежності висоти першого КП від верхньої межі інтегрування  $S_m$  (рис. 2). З графіка цієї залежності було визначено значення  $H_{11}$  та обчислено величини  $s_m/H_{11}\pi$ . [ 9]. За відрізком, що відсічений прямими  $s_m/H_{11}\pi$  на осі ординат, було обчислено значення площі під першим КП, яке виявилось таким, що дорівнює 14.8, що добре збігається із значенням, отриманим із КРР.

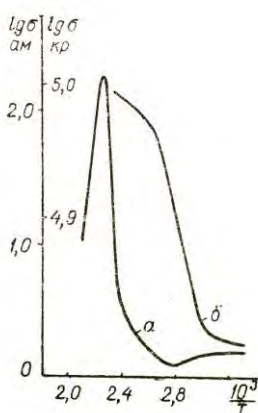


Рис. 2. Залежність висоти першого КП від верхньої межі інтегрування  $H_{11}$  ( $S_m$ )

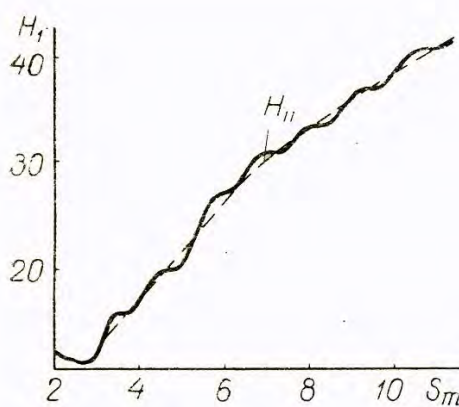


Рис. 3. Температурна залежність електропровідності зразків HgSe  
а – кристалічні плівки; б – аморфні плівки

За залежністю величини  $s_m/N_{111}$  від верхньої межі інтегрування було визначено середнє квадратичне зміщення атомів для аморфних плівок HgSe, яке виявилось таким, що дорівнює  $\sqrt{\bar{U}_s^2} = 0.1 \text{ \AA}$ .

Значення найкоротшої міжатомної віддалі у сполуці HgSe, що було знайдено за КРР, дорівнює  $2,64 \text{ \AA}$  і збігається із сумою ковалентних радіусів ртуті ( $1,48 \text{ \AA}$ ) та селену ( $1,16 \text{ \AA}$ ) [7]. Отже, можна припустити, що найближчими сусідами є атоми іншого сорту.

Відповідно до [1] площа під першим КП в такому випадку становить  $Q=2K_{\text{Hg}}K_{\text{Se}}n$ , де  $n$  – координаційне число. Використовуючи останнє співвідношення, а також експериментальне значення для площі під першим КП ( $Q=15.5$ ), знаходимо координаційне число (КЧ):

$$n = \frac{Q}{2K_{\text{Hg}}K_{\text{Se}}} = \frac{15.5}{2 \cdot 1.89 \cdot 1} = 4.1$$

Отже, тетраедрична координація, властива сполуці HgSe в кристалічному стані, визначає близький порядок цієї речовини і в аморфному стані. Структуру плівок HgSe в кристалічному стані було визначено раніше [5].

Монокристалічні шари орієнтовані площиною (111) паралельно (001) слюди з можливим двійникуванням по площині (111) і поворотом моноблоків на  $60^\circ$  відносно один одного, який, вочевидь, пов'язаний із особливістю будови поверхні сколу слюди.

З електрофізичних властивостей для монокристалічних плівок були досліджені залежність електропровідності від температури (рис. 3), ефект Хола та термо-ЕРС. Для аморфних зразків – температурна залежність електропровідності (рис. 3).

Ширина забороненої зони для аморфних плівок, визначена за нахилом кривої залежності електропровідності від температури, становить  $\approx 1 \text{ eV}$ , в той час як цей самий параметр для монокристалічних плівок дорівнює  $\approx 0,2 \text{ eV}$  [4].

Монокристалічні шари HgSe при температурі, вищій від температури рідкого азоту володіють лише n-типом провідності, концентрація та рухливість носіїв яких при кімнатній температурі відповідно дорівнюють  $n=3.4 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$  та  $\mu=9,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ . Цікаво відмітити, що при температурі рідкого азоту кристалічні зразки проявляють лише p-тип провідності.

Одним з результатів цього дослідження є те, що структура, властива для монокристалічних шарів, тобто тетраедрична, спостерігається і в аморфних плівках.

Тому таку значну зміну ширини забороненої зони можна спробувати пояснити не зміною структури, а значною дефектністю самої аморфної структури, за рахунок чого може змінюватись рухливість носіїв.

1. Абрикосов Н. Х. (и др.). Полупроводниковые соединения, их получение и свойства. – М.: Наука, 1967. – 175 с.

2. Андриевский А. И. (и др.). Определение параметров ближнего порядка в аморфных веществах по кривой радиального распределения с учётом эффекта обрыва // УФЖ, 1968, Вып. 13, №10, – с. 1596.

3. Елпатьевская О. Д. (и др.). Об устойчивости кристаллической структуры системы твёрдых растворов HgSe-HgTe // Журнал технической физики, 1956, вып. 26, №10, – с. 2154–2156.

4. Набитович И. Д. (и др.). Монокристаллические плёнки HgSe и некоторые их свойства // Тр. I научн. конф. по нитевидным кристаллам и неферромагнитным плёнкам, 1970, ч. 2, – с. 151–155.

5. Набитович И. Д. (и др.). Определение когерентной интенсивности и интенсивности фона по экспериментальной кривой интенсивности // Кристаллография, 1967, Вып. 4, № 12, – с.584–590.

6. Набитович И. Д. (и др.). Про структуру тонких шарів HgSe // Фізична електроніка, 1969,

вип. 1, № 1, – с. 62–67.

7. Ормонт Б. Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. – М.: Высшая школа, 1968, – с. 488.

8. Стецов Я. И. Определение координационных чисел и средних квадратичных смещений по кривым радиального распределения // Кристаллография, 1973, вып. 3, № 18, – с. 484–486.

9. Стецов Я. И. Новый способ определения нормирующего множителя при электронографических исследованиях структуры аморфных веществ // Кристаллография, 1973, Вып.2, № 18, – с.257–262.

УДК 621.396.6:681.3

**О.Б. Бень, В.В. Григор'єв, Р.Т. Панчак\***

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електронних приладів

\* Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра САПР

## **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОГРАМ ТРАСУВАННЯ ПРОВІДНИКІВ У СУЧАСНИХ САПР**

© Бень О.Б., Григор'єв В.В., Панчак Р.Т., 2005

**Розглянуті результати дослідження ефективності автоматичного трасування провідників в системах P-CAD та OrCAD**

**The results of efficiency analysis for track automatic routing in PCAD and OrCAD software are considered.**

### **Вступ**

Найпоширенішими на наших теренах є системи автоматизованого проектування (САПР) електронної техніки поширення P-CAD (ACCEL EDA) та OrCAD [1-6].

Обидві системи розв'язують приблизно однакові задачі: графічне введення принципів схем і розробка друкованих плат, моделювання цифрових пристроїв, проектування програмованих логічних інтегральних схем тощо.

До переваг САПР OrCAD традиційно зараховують зручні графічні редактори принципів електричних схем та вбудовані засоби моделювання цифрових, аналогових, аналого-цифрових пристроїв та програмованих логічних інтегральних схем, а також програму параметричної оптимізації; до переваг САПР ACCEL EDA (P-CAD) – інтегровані бібліотеки схемних та конструктивно-технологічних компонентів, ефективні програми конструкторського проектування та розвинуті засоби розробки конструкторських та технологічних документів.

Порівняння характеристик та особливостей названих САПР становить окрему тему. У статті розглянуто основні характеристики деяких програм трасування провідників друкованих плат (автотрасувальників) пристроїв електронної техніки в САПР P-CAD (ACCEL EDA) та OrCAD.

### **Аналіз характеристик автотрасувальників САПР P-CAD та OrCAD**

У систему P-CAD входять чотири програми автоматичного трасування (які прийнято називати автотрасувальниками) – Quick Route, PRO Route 2/4, PRO Route і P-CAD Shape-Based