

## СТРУМИ ТЕРМОРОЗРЯДЖЕННЯ АМОРФНИХ ФОТОПРОВІДНИКІВ $Sb_xSe_{1-x}$

В.І.Мікла, Ю.Ю.Надь

Ужгородський національний університет, м.Ужгород, вул.Волошина, 54

Наведено результати експериментів по спостереженню струмів термостимульованого розрядження (ТСР) фоторецепторів на основі Se, що містить незначну кількість розгалуджуючих додатків сурми. На підставі аналізу ТСР встановлена наявність глибоких рівнів захоплення. Зроблена спроба розрізнити власні та наведені фотозбудженням дефектні стани.

Однією з ключових проблем фізики напівпровідників була і залишається проблема керування типом та концентрацією носіїв заряду. Звідси безпосередньо випливає необхідність визначення параметрів локальних дефектних рівнів, розташованих у забороненій зоні напівпровідника. Арсенал методів що використовуються для визначення параметрів різноманітний. Однак, у випадку аморфних напівпровідників така задача набагато ускладнюється. На сьогодні не існує єдиного універсального методу, з допомогою якого можна було б зондувати весь спектр станів, локалізованих у щільні рухливості високоомних некристалічних напівпровідників. Серед відомих, найбільш часто вживаних і добре апробованих методів можна згадати експерименти по нестационарній фотопровідності, люмінесценції, термостимульованих струмів тощо [1-6]. У даному короткому повідомленні вперше приведені окремі дані, одержані з застосуванням оригінальної методики струмів терморозрядження зразків (своєрідна модифікація ксерографічного процесу) [5,6].

Досліджували зразки аморфних шарів  $Sb_xSe_{1-x}$  з вмістом Sb не більше 3 ат.%. Одержували методом вакуумного термічного напилення на відповідні підкладки з попередньо нанесеним провідним шаром  $SnO_2$  або алюмінієві з

окисною плівкою  $Al_2O_3$ . Температура підкладки під час напилення складала 300 К, температура випаровувача 500 К. З метою релаксації (стабілізації) структури аморфні зразки адаптували близько 3 тижнів в темноті при  $T_{кімн.}$  Струми терморозрядження вимірювалися у режимі короткого замикання на зразках заряджених у полі коронного розряду до різниці потенціалів 200-400 В.

Насамперед слід зауважити, що у режимі температурного сканування в аморфних зразках, які зазнали лише зарядки поверхні і не були опромінені світлом нами не зафіксовано жодного сигналу терморозрядження на рівні ( $10^{-14}$  А). Навпаки, багатократне повторення циклів зарядження-фоторозрядження, як це і має місце у реальних фоторецепторах, однозначно свідчить про формування залишкового потенціалу. Механізм останнього наочно ілюструє рис. 1. Для зручності взято, що поверхня фоторецептора заряджається негативно по відношенню до підкладки. Наступний етап – розрядження фотопровідника світлом, що сильно поглинається ( $\alpha > 10^4$   $cm^{-1}$ ). Фотогенеровані електрон-діркові пари приймають участь у компенсації поверхневого заряду та відповідно на підкладці. Так, дірки нейтралізують поверхневий заряд, тоді як електрони рухаються через шар фотопровідника до підкладки. Оскільки певна частина з них в процесі дрейфу захоплюється локальними рівнями, формується заряд, який і є

причиною залишкового потенціалу і, відповідно, появи максимуму струму ТСП. Релаксаційний процес активаційним чином залежить від температури: побудова залежності  $\lg I \sim f(1/T)$  дає по методу початкового нахилу [9] енергію

активації 0.90 еВ. Отже, рівні захоплення електронів знаходяться  $\approx 0.90$  еВ від дна зони провідності. Враховуючи дані інших авторів [7-10], згадані рівні є рівнями власних дефектів.

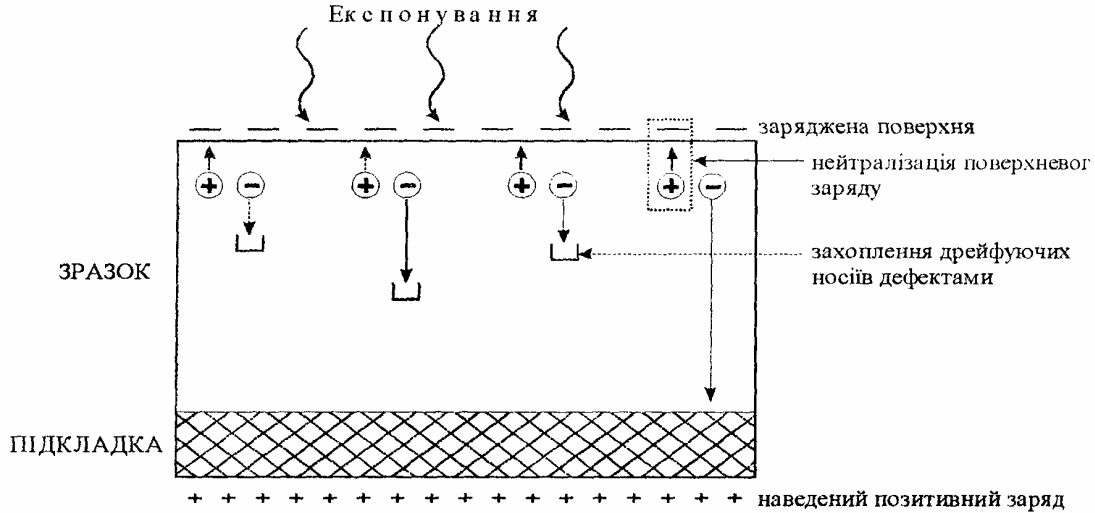


Рис. 1. Схематична діаграма, що пояснює формування залишкового потенціалу в аморфних шарах  $Sb_xSe_{1-x}$ . Зображені також процеси нейтралізації поверхневого заряду, дрейфу носіїв заряду, їх захоплення дефектними рівнями.

Зауважимо, що коли аналогічний експеримент провести при позитивному зарядженні поверхні, то крива ТСП не має чіткої структури з вираженим максимумом. Можливо, що рівні дефектів, які захоплюють дірки, або відсутні, або їх переріз захоплення (концентрація) нижчі межі чутливості даного методу.

Водночас, при умові попереднього опромінення шарів (до їх зарядження в полі коронного розряду) на кривих струмів ТСП проявляються ефекти захоплення носіїв заряду того чи іншого знаку в залежності від полярності зарядження поверхні (див. рис.2). Так чи інакше наявність спостережуваних піків є в певній мірі свідченням на користь фотонаведених дефектів.

Не вдаючись особливо у деталі механізму утворення таких дефектів, вважаємо, що вони є безпосереднім наслідком інтенсивного опромінення фотонами з енергією  $\geq$  величини псевдозабороненої зони конкретного фотопровідника. Інакше, це фотоіндуковані ("наведені") дефекти типу  $C_3^+$ ,  $C_1^-$  в чистому Se. Саме вони відповідальні за захоплення дрейфуючих фотоінжектованих носіїв, формування просторового заряду. Зовнішнім проявом останнього є поява на кривих струму ТСП чіткого максимуму, зумовленого вивільненням із згаданих дефектних рівнів захоплених носіїв при нагріванні. Вищезазначене справедливе і для випадку дрейфу дірок крізь зразок з фотонаведеними дефектними рівнями.

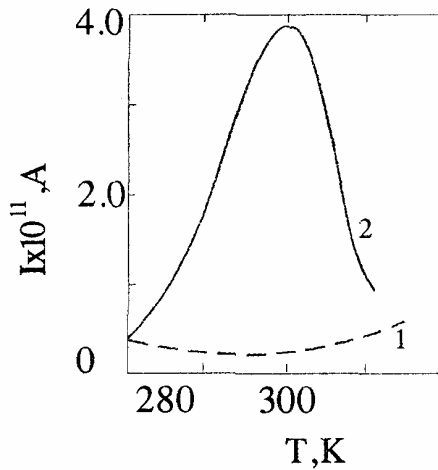


Рис. 2. Спектр ТСП шарів заряд-жених негативно. 1 – адаптовані в темноті зразки, 2 – після проведення циклів зарядка-опромінення.

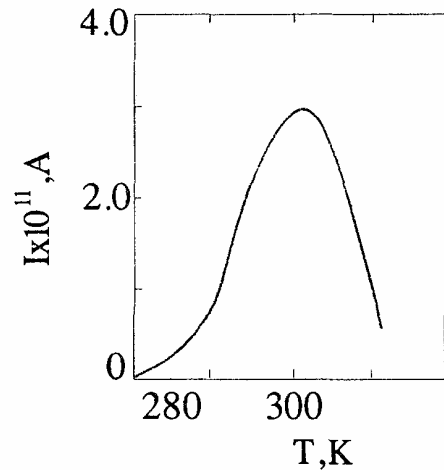


Рис. 3. Струми ТСП попередньо опроміненіх зразків. Швидкість нагрівання у всіх випадках складає 0.6 К/с.

Аналіз струмів ТСП показує, що як для позитивно так і для негативно заряджених аморфних плівок  $Sb_xSe_{1-x}$  характерні наявність сингулярних максимумів. Слід мати на увазі, що у першому випадку (рис.2) певно відбувається делокалізація захоплених електронів  $C_3^+$ , а у другому (рис.3) – вивільнення дірок з  $C_1^-$  дефектів.

Розрахунок глибини залягання відповідних рівнів дає  $E_t^h \approx 0.90$  eВ і  $E_t^e \approx 0.96$  eВ. Такі значення добре узгоджуються з даними інших експериментів для зразків аналогічного складу. Зазначимо також, що дані, наведені у цьому короткому повідомленні, додатково переконують нас в існуванні “нативних” та “наведених” дефектів відповідно у вихідних та опроміненіх аморфних зразках.

1.P.Braunlich. Thermally stimulated relaxation in solids. (Berlin; Springer), 1979.

2.Ю.А.Гороховатский, Г.А.Бордовский. Термоактивационная токовая спектроскопия

высокоомных полупроводников и диэлектриков. М. Наука, 1991.

3.А.А.Кикинеши, В.И.Микла, И.П.Михалько, ФТП, 11 (1977) с.1010.

4.А.-Е.А.Кикинеши. Фотополяризация и локальные состояния в некоторых полупроводниках типа  $A^V B^{VIII}$  Автореф. Дис. канд. физ-мат. наук Черновцы 1973.

5.S.O.Kasap, *Handbook of Imaging Materials* (New York:Dekker) p. 329.

6.S.B.Berger, R.C.Enck in: Proc. Intern. Symposium on Industrial Uses of Selenium (Selenium-Tellurium Development Ass. Inc.) Darien, U.S.A., 1980.

7.M.Abkowitz and R.C.Enck, *Phys. Rev.* B25 (1982) 2567.

8.V.I.Mikla, A.V.Mateleshko, V.V.Mikla, Yu.Yu.Nagy. *J. Non-Cryst. Solids* 246 (1999), 46.

9.G.P.Garlick, A.F.Gibson, *Proc.Roy.Phys. Soc.*, 60 (1948) 574.

10.A.Madan, M.P.Shaw, The physics and applications of amorphous semiconductors Boston, Acad. Press (1988).

# **DISCHARGE CURRENTS IN $Sb_xSe_{1-x}$ AMORPHOUS PHOTOCONDUCTORS**

**V.I.Mikla Yu.Yu.Nagy**

Uzhgorod State University, Voloshina st.54, 88000 Uzhgorod, Ukraine

Experimental results on thermally stimulated discharge in amorphous Se-based photoconductors have been considered. The discharge spectra clearly show the existence of single maximum for both polarity of charging. These peaks are associated with carrier trapping by defect states. It may be suggested that photoinduced and native defect states are the same (their depth seem to be identical).