

Міністерство надзвичайних ситуацій України

Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності

Міжнародна
науково-практична конференція
курсантів і студентів

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ
РОЗВИТКУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ



ОПИС ІНДУКОВАНИХ ЕФЕКТІВ В ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СКЛОПОДІБНИХ НАПІВПРОВІДНИКАХ В РАМКАХ КОНФІГУРАЦІЙНО-КООРДИНАТНОЇ МОДЕЛІ

Кобилкін Д.С.

Балицька В.О., доцент кафедри термодинаміки і фізики, канд. фіз.-мат. наук, доцент
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Халькогенідні склоподібні напівпровідники (ХСН), вперше досліджені Б.Т. Міллером і Н.А. Горюновою ще всередині 1950-их років [1], і надалі знаходяться в сфері вчених в зв'язку з можливістю їх широкого застосування в оптоелектроніці (приладах зберігання і переробки інформації, сенсорній техніці, телекомунікації і т.д.) [2]. Нестабільність цих неупорядкованих матеріалів зумовлена, насамперед, їх аномальною чутливістю до зовнішніх факторів, невластивих кристалічним аналогам.

Одночасно для ХСН спостерігається і ряд негативних ефектів, що обмежує їх застосування в сучасних оптоелектронних системах високої надійності і точності. Це пов'язано, в основному, часовою після технологічної нестабільності фізичних властивостей ХСН в зв'язку їх релаксацією до термодинамічної рівноваги. Цей процес спостерігається, як і в нормальних умовах (тоді говорять про природне фізичне старіння [3]), так і під впливом зовнішніх факторів, до яких відносяться різноманітні термо-, радіаційно- і фотостимульовані процеси [4]. Феноменологічному опису цих ефектів присвячено ряд робіт в рамках так званих конфігураційно-координатних моделей (ККМ) [5,6], які ставлять у відповідність кожному структурному стану ХСН його певний геометричний прообраз, що відповідає аналітичній залежності енергії атомних вузлів E від деякої узагальненої конфігураційної координати q . Зазвичай, в загальному випадку такі залежності є параболічними або квазіпараболічними, близькими до $E \sim q^2$, при відносно невисоких термічних збуреннях в системі [5].

На жаль, раніше запропоновані ККМ [5, 6] не дозволяють описати всю сукупність процесів перетворень в ХСН, особливо викликаних комбінованими зовнішніми впливами – терморадіаційними, радіаційно-фотонними, фототермічним і т.д.

В даній роботі пропонується нова ККМ, що враховує можливість стабілізації як в нормальній (тобто початкової, заданої технологічно) структури ХСН в умовах природного старіння (фізичне старіння), так і різноманітних пост-технологічних метастабільних станів, індукованих зовнішніми впливами. Дана модель включає (рис. 1) декілька елементів.

Перший елемент, зображений багатоямною квазіпараболою $X-Y-Z_1-Z_2, \dots$, відповідає певному структурному стану ХСН. Самий глибокий (тобто термодинамічно найбільш стабільний) підстан цієї квазіпараболи X досягається в процесі довготривалого фізичного старіння ХСН в нормальних умовах, іноді протягом декількох десятків років [3]. Інші підстани (Y, Z_1, Z_2, \dots) характеризуються більш мілкими локальними долинами з невисоким енергетичним бар'єрами ($\Delta E_{Z_1Y}, \Delta E_{Z_2Z_1}$), між якими можливі термічно активовані переходи тунелювання через бар'єр, що відповідає швидкому фізичному старінню ХСН.

Наступний елемент запропонованої ККМ відтворює збуджений стан атомних вузлів ХСН. Він представлений параболою U з достатньо широкими гілками у відповідності до енергетичної електрон-фононної взаємодії, властивій ХСН [4]. Цей стан короточасний, він нестійкий до зовнішніх впливів, не дивлячись на різноманітність зовнішніх впливів. Між основними і збудженими станами можуть відбуватися тільки прямі вертикальні переходи E_{XU}, E_{YU}, E_{ZU} (аналогічні Франк-Кондонівським), найкороткий з яких E_{XU} відповідає процесу фото- і термоіндукованого потемніння. Цей перехід, зокрема, відповідає смугі збудження люмінесценції, що супроводжується структурною релаксацією атомних центрів до дна параболої U і відповідною зміною конфігураційної координати q .

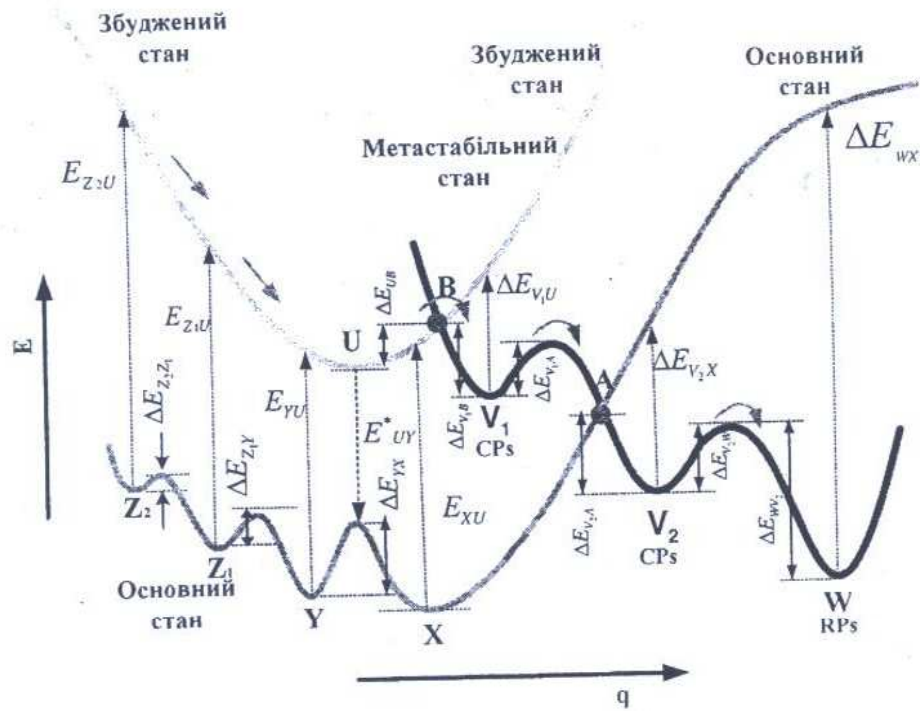


Рис. 1. Конфігураційно-координатна модель структурних станів в ХСН

Третій елемент запропонованої ККМ, що відповідає метастабільним станам W , ...) і пов'язаний з різними топологічними координаційними дефектами представлений квазіпараболою, що розщеплюється на 3 (або більше) під перетинається як з параболою збудженого стану U , так і з параболою основного стану X в точках B і A , відповідно. У випадку P_2C_3 стекло, V_1 стан відповідає формуванню тандемних валентних пар $-(P_2^+; C_1^-)$, стан V_2 — зв'язаним парам $-(P_4^+; C_1^-)^{CP}$, с упорядкованим парам $-(P_4^+; C_1^-)^{RP}$.

Оскільки час життя ТКД в стані V_1 дуже короткий, можливі наступні переходи $\Delta E_{V_1B} \geq \Delta E_{V_1A} \approx kT$ дефектні пари $(P_2^+; C_1^-)$ через т. А переходять або в стан V_2 або якщо $\Delta E_{V_1B} \ll \Delta E_{V_1A} \approx kT$ дефектні пари $(P_2^+; C_1^-)$ повертаються назад в стан U через т. В обох випадках відновлюється ковалентний зв'язок, і відповідно релаксаційна кінетика набуває експоненційної поведінки.

Як видно з рис.1, атомні стани із стану V_2 можуть перейти також через т. А і при умові $\Delta E_{V_2A} \approx \Delta E_{V_2W} \approx kT$. В цьому випадку процес супроводжується виникненням типу $(P_4^+; C_1^-)$ і описується бімолекулярною кінетикою.

Література:

1. Goryunova N.A., Kolomiets B.T. Новые стеклообразные полупроводники // Изв. Акад. Наук СССР. Сер. Физ. — 1956. — Т. 20, № 12. — С. 1496-1500.
2. Zhang X., Ma H., Lucas J. Application of chalcogenide glass bulks and fibers // — J. Optoelectronics Adv. Mat. — 2003. — Vol. 5. — P. 1327-1333
3. Golovchak R.Ya., Shpotyuk O.I., Kozdras A. On the reversibility window in binary As-S // Phys. Letters A. — 2007. — Vol. 370. — P. 504-508.
4. Shpotyuk O.I., Matkovskii A.O. Radiation-optical properties of vitreous As₂S₃ // Optoelectronics Review. — 1994. — Vol. 4. — P.100-103.
5. Kolobov A.V., Konstantinov O.V. The Urbach rule in the configuration-coordinate model of amorphous semiconductors // Phil. Mag. — 1979 — Vol. B 40. P. 475-481.
6. Kolobov A.V., Konstantinov O.V. Optical absorption in semiconductors within the framework of the configuration-coordinate model // Phil. Mag. — 1983. — Vol. B 47, No 1. — P. 1-9.