

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ (100) ШАРУВАТИХ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ КРИСТАЛІВ In_4Se_3 МЕТОДАМИ СКАНУЮЧИХ ТУНЕЛЬНИХ МІКРОСКОПІІ ТА СПЕКТРОСКОПІІ

Дверій О.Р., Галій П.В.

Львівський національний університет імені Івана Франка,
e-mail: abiturient@bigmir.net

Шаруваті кристалічні структури із сильною ковалентно-іонною взаємодією всередині шару та слабким Ван-дер-Ваальсівським зв'язком між шарами є об'єктами сучасних досліджень, даючи нові можливості розуміння властивостей низькорозмірних (2D) та ланцюжково-подібних структур і їх потенційного технологічного застосування. Особливістю міжшарової поверхні сколювання (ПС) (100) In_4Se_3 у порівнянні з іншими шаруватими напівпровідниковими кристалами є борознистий і ланцюжково подібний її рельєф. Для дослідження структури та топографії ПС (100) кристалів In_4Se_3 використані методи дифракції повільних електронів (ДПЕ) та скануючої тунельної мікроскопії (СТМ), а метод скануючої тунельної спектроскопії (СТС) – для отримання поверхневої локальної електронно-енергетичної структури і якісних характеристик локальної густини електронних станів.

Для ПС, отриманих у надвисокому вакуумі (НВВ) виявлено періодичні борознисті структури [1], які співмірні з постійними ґратки, що отримані дифракцією X-променів (рентгено-структурним аналізом). Результати ДПЕ та СТМ вказують на те, що борозниста та ланцюжковоподібна поверхнева структура (100) In_4Se_3 є стабільною, тобто ПС не перебудовується при тривалих експозиціях у НВВ і може бути застосована як анізотропна, слабо провідна матриця для створення поверхневих провідних нанодотів або наноструктур.

Результати СТМ/СТС вказують на можливу локальну фазову неомогенність та енергетичну неоднорідність сколів (100) In_4Se_3 . Деякі локальні точки на поверхні розміром $\cong 10 \text{ \AA}$ показують як нелінійні ВАХ – I_T-V , властиві для напівпровідникових поверхонь, так і металоподібні лінійні ВАХ, вказуючи про можливі кластери металу In на ПС (див. рис. 1). Проте, усереднення по невеликих ділянках площі $13 \times 8,5 \text{ нм}^2$, вибраних на ПС, дає I_T-V характеристики, притаманні напівпровідникам. Диференційовані спектри dI_T/dV від напруги зміщення V є функцією енергії і є пропорційними до локальної густини станів – $N_S(E)$.

Методом СТС отримано величину зонної щільності $\sim 0,65 \text{ eV}$, що вказує, в цілому, на напівпровідникову природу поверхні (100) In_4Se_3 і, також, можна виявити присутність поверхневих станів біля стелі валентної зони. Одержана величина зонної щільності для поверхонь сколювання In_4Se_3 (n -тип провідності, $n \cong 5 \times 10^{15} - 10^{17} \text{ см}^{-3}$, при 300 К) добре узгоджується з величиною зонної щільності для об'єму шаруватого напівпровідникового кристалу In_4Se_3 $E_g \cong 0,62 - 0,67 \text{ eV}$, отриманої іншими експериментальними та теоретичними методами [2]. Зокрема, таке співпадіння корелює із стабільністю та відсутністю реконструкції поверхневої структури (100) In_4Se_3 після сколювання та експозиції у НВВ.

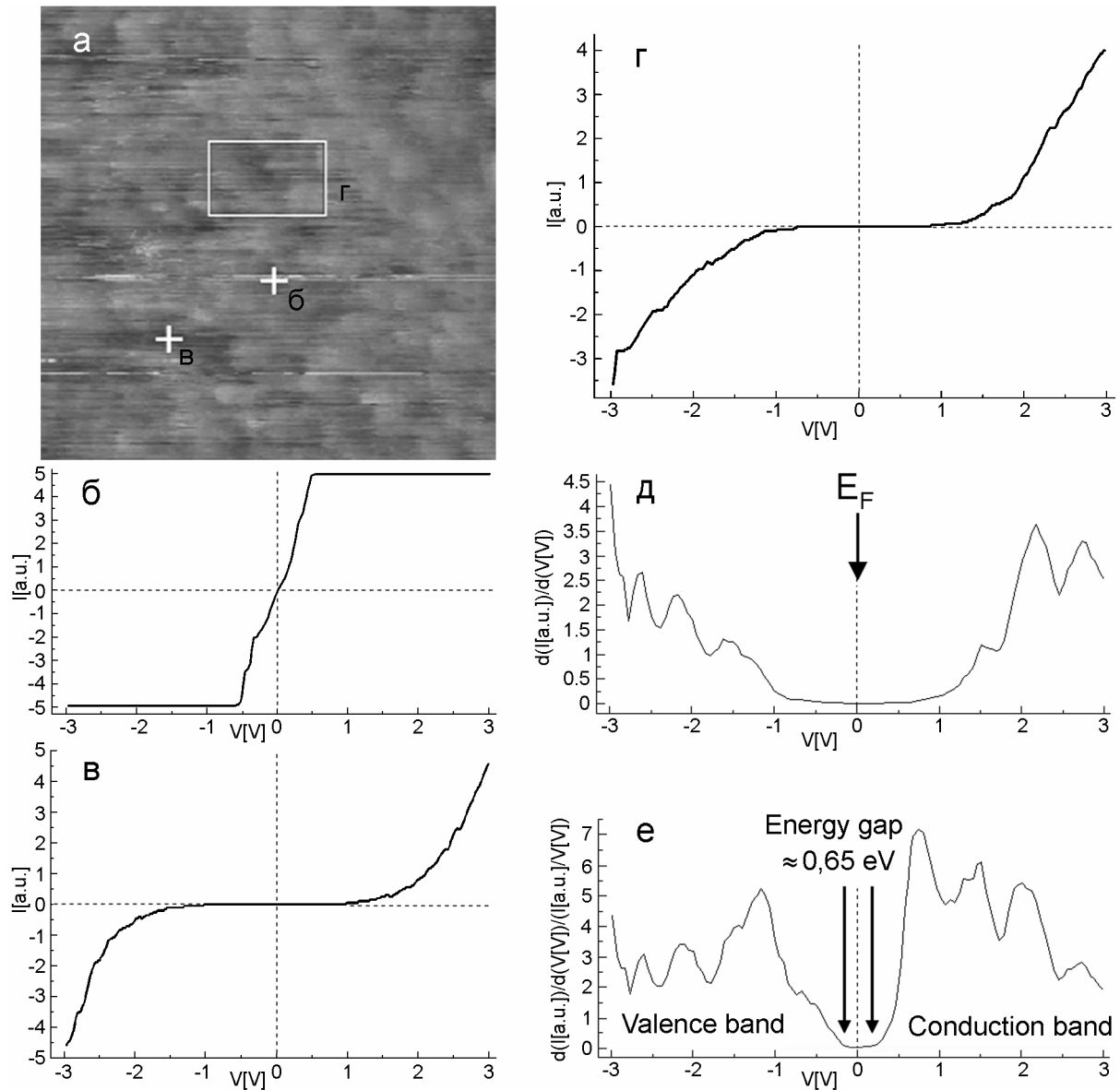


Рис.1. СТМ/СТС дослідження НВВ сколу поверхні (100) In_4Se_3 : **а)** СТМ зображення розміром $50 \times 50 \text{ nm}^2$; **(б, в)** – локальні $I=f(V)$ криві, виміряні у різних точках в межах зображення розміром $50 \times 50 \text{ nm}^2$: **б)** $I-V$ крива, виміряна в точці, відміченій хрестиком на Рис. 1а, характерна для металу; **в)** напівпровідникова $I-V$ крива; **г)** типові $I=f(V)$ криві як результат усереднення у позначеній прямокутником ділянці на Рис. 1а (усереднені $I=f(V)$ криві для 100 точок); **д)** диференційовані просторово усереднені dI/dV спектри; **е)** пронормовані dI/dV спектри.

В цілому, спостережувана періодична борозниста структура незначно відрізняється по всій досліджуваній поверхні, що можна побачити із Фур'є-фільтрації зображень. Однак, спостерігається зростання періодів в борознистих структурах у напрямі нормальному до ланцюжків, переходячи від сколів одержаних у НВВ до свіжих поверхонь сколювання, одержаних на повітрі із зникненням періодичних структур при тривалих експозиціях сколів на повітрі.

[1] Galiy P.V., Ciszewski A., Dveriy O.R. et al. // *Func. Materials*, **16**, 279 (2009).

[2] Sznajder M., Rushchanskii K.Z., Kharkhalis L.Yu. et al. // *Phys. Stat. Sol.* **B243**, 592, (2006).