

УДК 621.32
PACS number(s): 71.20.Gj, 72.10.Di

АНІЗОТРОПІЯ ЕЛЕКТРОН-ФОНОННОЇ ВЗАЄМОДІЇ ТА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЩІЛИНИ В ОЛОВІ

Б. Конопацький¹, С. Морлок², А. Хоткевич¹

¹Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України
відділ мікроконтактної спектроскопії
пр. Леніна, 47, 61103 Харків, Україна
e-mail: konopatsky_boris@list.ru

²Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"
кафедра технічної кріофізики
вул. Фрунзе, 21, 61002 Харків, Україна

Виміряно залежності ВАХ, їх перших та других похідних для точкових контактів між монокристаллами олова, орієнтованих вздовж головних кристалографічних напрямів [100], [110] та [001]. На підставі характеристик контактів у нормальному стані визначено анізотропію відтвореної спектральної функції електрон-фоновної взаємодії. Обчислено значення середньої частоти фононів. Точкові контакти в надпровідному стані використані для дослідження анізотропії надпровідної щілини. При цьому був застосований прямий експериментальний метод, що ґрунтується оснований на спостереженні субгармонічної щільової структури на ВАХ.

Ключові слова: електрон-фоновна взаємодія, анізотропія, енергетична щілина.

Розвиток методу мікроконтактної спектроскопії [1, 2] довів, що за низьких температур мікроконтактні спектри (залежності других похідних вольт-амперних характеристик (ВАХ) точкових мікроконтактів у нормальному стані від напруги) відображають структуру функції електрон-фоновної взаємодії (ЕФВ), яка споріднена з щільністю фононних станів, а також анізотропію ЕФВ. При цьому мікроконтактна спектроскопія як метод виявляється найбільш ефективною для систем з великою середньою довжиною вільного пробігу, тобто, насамперед для чистих металів, коли вдається реалізувати найбільш інформативний балістичний режим руху носіїв заряду в контакті.

Наша робота розвиває мікроконтактну спектроскопію ЕФВ у чистих металах і спрямована на дослідження анізотропії мікроконтактних спектрів в олові.

Мікроконтактна функція ЕФВ $g_{pc}(\omega)$ відрізняється від ізотропної термодинамічної функції ЕФВ $g(\omega)$ (функції Еліашберга) формфактором, роль якого проявляється в залежності мікроконтактних спектрів від орієнтації осі контакту в кристалічній ґратці металу. Внаслідок цього методом мікроконтактної спектроскопії можна досліджувати анізотропію ЕФВ. Перші прямі вимірювання мікроконтактних спектрів, що відповідають головним кристалографічним

напрямак, були проведені для цинку й міді в [1]. Ми дослідили анізотропію $g_{pc}(\omega)$ для ν -фази олова (білого олова) – металу зі складною об'ємноцентрованою тетрагональною ґраткою.

Прижимні контакти, що використовували в цій роботі, створювали безпосередньо в рідкому гелії за допомогою механічного пристрою для мікропереміщень електродів. Для збільшення механічної стабільності контактів один з електродів кріпили на дротовому демпфері. Пристрій для одержання контактів виконано з берилієвої бронзи Бр-Б2.

При температурі 1,5 К вимірювали опір контактів в нормальному стані, а також залежності напруг першої та другої гармонік низькочастотного модулюючого сигналу від напруги на контакті $V_1(V) \sim dV/dI(V)$ і $V_2(V) \sim d^2V/dI^2(V)$. Надпровідність зразків за необхідності руйнувалась постійним зовнішнім магнітним полем.

Було досліджено характеристики декількох десятків контактів в інтервалі опорів від 2 до 10 Ом.

Загальним для наших даних, показаних на рис. 1 і 2, є наявність на мікроконтактних спектрах ЕФВ в олові й відновлених з них функцій $g_{pc}(\omega)$ структури із чотирьох максимумів 6, 9, 12 і 15 меВ, а також іноді “плечей” або зломів, які простежені 4 і 17 меВ.

Анізотропія мікроконтактної функції ЕФВ, яку було простежено, виявлялася у збільшенні відносної інтенсивності низькочастотних максимумів $g_{pc}(\omega)$ для напрямів [100] і [110] порівняно з відносною інтенсивністю особливостей $g_{pc}(\omega)$ для напрямку [001] і зсуву максимумів $g_{pc}(\omega)$ для [100] у бік менших енергій. Це корелює з відомою картиною анізотропії енергетичної щільності у надпровідному олові [3], коли в напрямі [100] спостерігається більше значення $2\Delta/kT_c$ (2Δ – енергетична щільність, T_c – критична температура надпровідного переходу), ніж у напрямі [001].

З метою обробки даних було використано програмне забезпечення – сучасну версія програми [4], яке дає змогу отримувати функцію $g_{pc}(\omega)$, значення середньої частоти фононів $\langle\omega\rangle$, а також низку інших характеристик. Потрібно особливо зазначити, що середні частоти фононів не залежать від нормування функції ЕФВ і можуть бути визначені з даних мікроконтактної спектроскопії з високою точністю. Головні параметри мікроконтактів внесені до табл. 1.

Таблиця 1

Головні параметри мікроконтактів

Кристалграфічний напрям	R_0 , Ом	V_2^{\max} , мкВ	$\langle\omega\rangle$, меВ
[001]	2,58	0,5919	8,8549
[110]	6,75	0,4802	9,4207
[100]	5,7	1,2721	9,7173

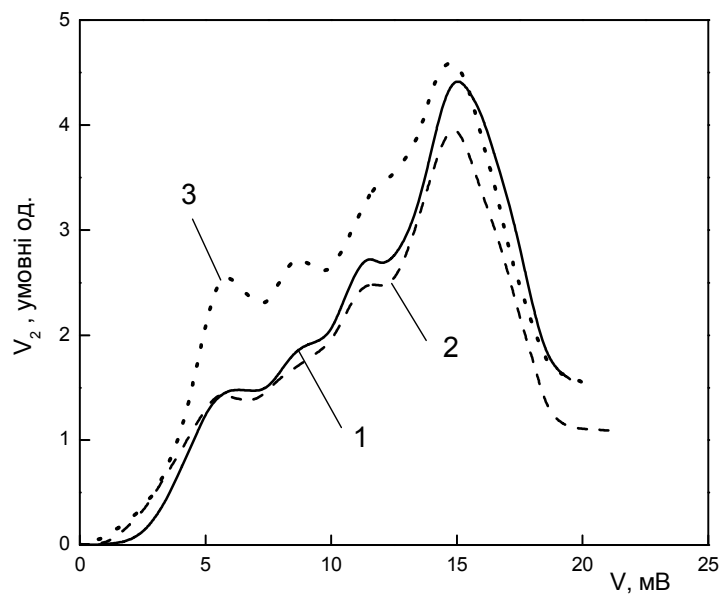


Рис. 1. Анізотропія мікроконтактних спектрів ЕФВ: 1 – напрям [100]; 2 – [110]; 3 – [001]

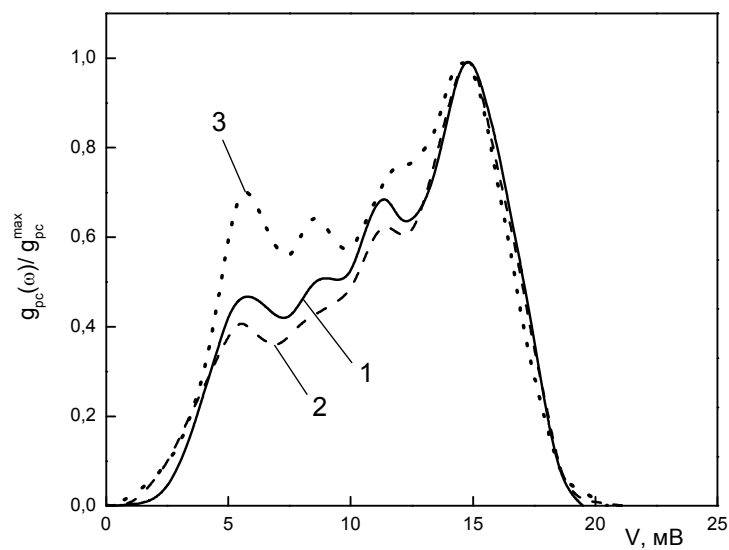


Рис. 2. Анізотропія мікроконтактної функції ЕФВ: 1 – напрям [100]; 2 – [110]; 3 – [001]
Графіки 1, 2, 3 відновлені відповідно зі спектрів 1, 2, 3 на рис. 1

Важливим є те, що вдалося отримувати за низької температури ($T < T_k = 3,72$ К для олова) характеристики одного і того самого контакту, як у нормальному, так і в надпровідному стані.

Для дослідження анізотропії надпровідної щілини було застосовано прямий експериментальний метод вимірювання 2Δ за субгармонічною щільовою структурою на ВАХ, яка зумовлена багатократним андріївським відбиттям електронів [2]. При цьому енергетична щілина виявляється у вигляді характерного мінімуму на першій похідній ВАХ і також може бути точно відрахована за другою похідною ВАХ (див. рис. 3).

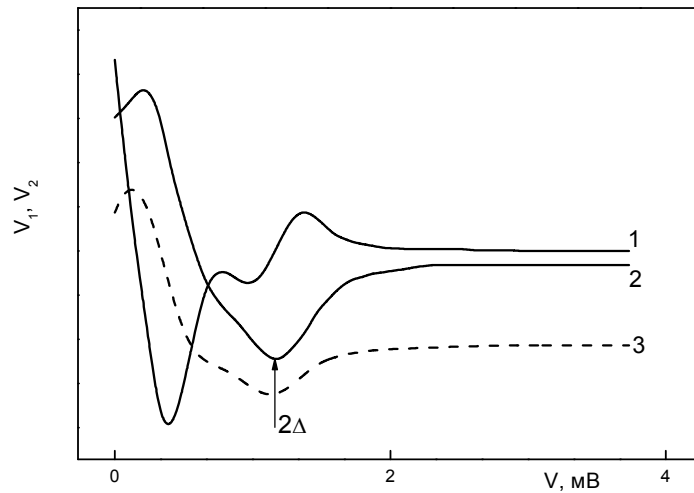


Рис. 3. Похідні ВАХ надпровідного контакту (напряг [001]): 1 – виміряна залежність $V_2(V)$; 2 – виміряна залежність $V_1(V)$; 3 – залежність $V_1(V)$, отримана із залежності 1 чисельно

За нашим даними величина енергетичної щілини за температури 1,5 К (коли величина Δ з високою точністю збігається зі своїм значенням при $T = 0$) становить $2\Delta = 1,1$ меВ для напрямку [001] і $2\Delta = 1,05$ меВ для напрямів [100] і [110] у базисній площині. В одиницях $2\Delta/kT_k$ це дорівнює 3,43 і 3,28, відповідно. Отримані значення якісно корелюють із даними тунельного ефекту. Так, за даними [2], значення $2\Delta/kT_k$ досягають 4,3, тоді як для базисної площини вони становлять 3,1. Зазначимо, що тунельні дані різних авторів за величиною анізотропії надпровідної енергетичної щілини в олові [3] не виявляють між собою кількісної відповідності.

1. *Khotkevich A. V., Yanson I. K.* Atlas of point contact spectra of electron-phonon interactions in metals. Kluwer Academic Publishers: Boston/Dordrecht/London, 1995. 151 p.
2. *Naidyuk Y. G., Yanson I. K.* Point-contact spectroscopy. Springer: USA, 2004. 300 p.
3. *Wolf E. L.* Principles of electron tunneling spectroscopy. Oxford University Press. New York. 1985. 576 p.
4. *Хоткевич В. В., Хоткевич А. В.* Восстановление функции электрон-фононного взаимодействия по экспериментальным данным в методе микроконтактной спектроскопии // Деп. ВИНТИ. 1986. № 164. Вып. 86. 74 с.

THE ANISOTROPY OF ELECTRON-PHONON INTERACTION AND ENERGY GAP IN TIN

B. Konopatskyi¹, S. Morlok², A. Khotkevich¹

*¹Boris Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering
Department of Microcontact Spectroscopy
47 Lenin Ave., 61103 Kharkov, Ukraine
e-mail: konopatsky_boris@list.ru*

*²National Technical University "Kharkov Polytechnical Institute"
Physicotechnical department
Frunze Str. 21, 61002 Kharkov, Ukraine*

The relations of current-voltage characteristic both their maiden are measured and flexons for point contacts between oriented single crystals of tin for main crystallographic directions [100], [110] and [001]. From characteristics of contacts in normal state the anisotropy of recovered spectral function of electron-phonon interaction is obtained. The values of medium frequency of phonons are calculated. The point contacts at superconductive state are used to research of anisotropy of energy gap. At the same time the direct experimental method based on subgarmonic gap structure observation are used.

Key words: electron-phonon interaction, anisotropy, energy gap.

Стаття надійшла до редколегії 18.06.2007
Прийнята до друку 08.07.2008