

УДК 530.145+678.9

Курбацький В.П.¹, Коротун А.В.¹, Погосов В.В.², Упир А.П.³

¹ доц. НУ «Запорізька політехніка»

² проф. НУ «Запорізька політехніка»

³ студ. гр. РТз 417

РОЗРАХУНОК ПОВЗДОВЖНЬОЇ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ СКАНУВАЛЬНОГО ТУНЕЛЬНОГО МІКРОСКОПА

Робота сканувального тунельного мікроскопа (СТМ) заснована на явищі тунелювання електронів крізь потенціальний бар'єр. Коли зонд наближається до поверхні зразка на відстань приблизно 1 нм, електрони починають тунелювати через проміжок між ними. Тунельний струм, що змінюється в процесі сканування, є тим сигналом, який використовують для формування контрасту зображення [1].

Сила тунельного струму дуже сильно залежить від відстані між зондом і зразком, що обумовлює високу чутливість приладу. Гранична роздільна здатність СТМ в нормальному до зразка напрямку z визначається шумами і складає приблизно 10^{-3} Å [2]. Розділення у площині xu обмежується розмірами області локалізації тунельного струму на поверхні зразка. Метою роботи є оцінка граничної роздільної здатності СТМ в цьому напрямку.

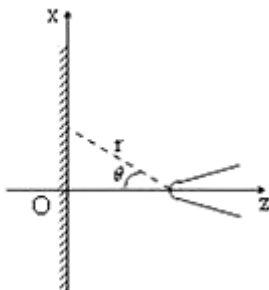


Рисунок 1 – Тунельний перехід в СТМ.

Рівняння Шредингера в області між вістрям зонду і поверхнею зразка (рис. 1) має вигляд

$$\Delta\psi - \kappa^2\psi = 0, \quad (1)$$

де $\kappa \equiv \sqrt{2mU_0}/\hbar$, U_0 – висота потенціального бар'єру, яка приблизно дорівнює характерному значенню роботи виходу 5 еВ (eV набагато менше цієї величини і складає кілька десятих електрон-вольта), V – напруга зміщення між зондом і зразком, e – заряд електрона, m – його маса, $\hbar$ – стала Планка. Розв'язок цього рівняння

$$\psi = A \exp(-\kappa r)/r, \quad A = \text{const}. \quad (2)$$

Знехтуємо відбиванням електронів від поверхні зразка, тобто будемо вважати, що всі електрони, які тунелюють до поверхні, дають внесок в струм. Потік електронів через поверхню зразка

$$j \sim |\psi|^2 \cos \theta = A^2 z \exp(-2\kappa r)/r^3. \quad (3)$$

Тунельний струм через ділянку S поверхні зразка дорівнює $I(S) = \int_S j dS$.

Визначимо величину R наступним чином:

$$I(z \leq r \leq R)/I(z \leq r < \infty) = 0.9. \quad (4)$$

Обчислення з використанням формули (3) приводять до співвідношення

$$\frac{R}{z} \exp(\kappa(R-z)) = \sqrt{10}. \quad (5)$$

Користуючись рівнянням (5), можна знайти R . В першому наближенні в цьому рівнянні можна прийняти $R/z = 1$. Тоді маємо

$$R - z \approx 1.2/\kappa. \quad (6)$$

Підставляючи типові значення $\kappa = 1.2 \text{ 1/\AA}$, $z = 3 \text{ \AA}$, отримуємо $R = 4 \text{ \AA}$.

Як впливає з визначення (4) величини R , мікроскоп усереднює деталі поверхні зразка в області радіусу $x = \sqrt{R^2 - z^2}$, тому ця величина може слугувати оцінкою роздільної здатності мікроскопа в площині поверхні зразка. Користуючись отриманим значенням R , знаходимо, що $x \approx 3 \text{ \AA}$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тузяк, О.Я. Основи електронної та зондової мікроскопії [Текст] / О.Я. Тузяк, В.Ю. Курляк. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012. – 296 с.
2. Курбацький, В. П. Граничні характеристики сканувального тунельного мікроскопа [Текст] / В. П. Курбацький, А. В. Коротун, В. В. Погосов // VI Міжнародна науково-технічна конференція з нагоди 90-річчя УДХТУ «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (КМОСС-2020) (Листопад, 4-6, 2020). – Дніпро, ДВНЗ УДХТУ, Україна. – С. 192–193.