

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. П.И. Лукирский. УФН, 9, 277–307 (1929).

УДК 006.91

Курбацький В.П.¹, Погосов В.В.², Коротун А.В.¹, Пехотін Д.А.³

¹канд. фіз.-мат. наук, доц. ЗНТУ

²д-р фіз.-мат. наук, проф. ЗНТУ

³студ. гр. РТ-318сп ЗНТУ

ДО ПИТАННЯ ПРО ГРАНИЧНУ РОЗДІЛЬНІСТЬ ЕЛЕКТРОННОГО МІКРОСКОПУ

У сучасному електронному мікроскопі головний обмежувач роздільної здатності приладу – викривлення зображення, які вносяться магнітними та електростатичними лінзами. Ці викривлення компенсуються застосуванням все більш складних систем електромагнітних полів. Таким шляхом дослідникам, які працюють над проектом TEAM (Transmission Electron Aberration-Corrected Microscope), вдалось досягнути роздільної здатності 0,5 Å. Але з'явилося повідомлення, що нова коректуюча система, на яку було витрачено великі кошти, не дала змоги покращити роздільність приладу і навіть погіршила її [1].

Причину з'ясували, коли знайшли, що такий же самий ефект погіршення роздільної здатності спостерігається, якщо замість цієї системи поставити звичайну металеву трубу, схожу на ту, в якій система вміщувалась. Таким чином, стало зрозуміло, що джерелом шуму, який призводить до розмивання зображення, є тепловий рух електронів у металевих стінках труби, що збурює своїми полями рух електронів у системі магнітних лінз.

Метою даної роботи є оцінка величини флуктуацій поля у районі магнітних лінз електронного мікроскопу, обумовлених тепловим шумом в корпусі пристрою, та погіршення роздільної здатності, яке виникає з цієї причини.

Приймаємо, що корпус уявляє собою циліндричну трубу середнього діаметру D і висоти h . Температура пристрою T . Розглядаємо корпус як послідовно з'єднані індуктивність L і опір R , замкнені на генератор флуктуацій струму. Розрахунок дає для середнього квадрату теплових флуктуацій струму величину:

$$\overline{\mathcal{I}}^2 = kT / L, \quad (1)$$

де k – стала Больцмана.

Флуктуації струму спричиняють флуктуації магнітного поля всередині труби, середня величина яких дорівнює:

$$\delta B = L \sqrt{\delta I^2} / S = \sqrt{kTL} / S, \quad (2)$$

де $S = \pi D^2 / 4$ – площа перетину труби. Користуючись для індуктивності труби формулою $L = \mu_0 S / h$, в результаті отримуємо:

$$\delta B = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{\mu_0 k T}{\pi h}}, \quad (3)$$

Для $D = 20$ см, $h = 1$ м, $T = 300$ К маємо $\delta B = 4 \cdot 10^{-13}$ Тл.

З наведених формул видно, що величина флуктуацій поля, а тому і їх вплив на роздільну здатність, не залежить від матеріалу, з якого виготовлено корпус, а залежить лише від геометрії корпусу. Ствердження автора роботи [1], що ефект погіршення роздільної здатності обумовлений великими розмірами нової системи, є неточним. Цей ефект слід пов'язувати з особливостями конструкції системи в цілому, тобто з формою корпусу, розміщенням лінз і т.п.

Точний розрахунок граничної роздільної здатності електронного мікроскопу δ , обумовленої тепловими флуктуаціями в корпусі приладу, неможливий за відсутності відомостей про деталі конструкції системи лінз. У результаті проведеного аналізу була отримана наближена формула:

$$\delta \approx 2 f \delta B / \bar{B}, \quad (4)$$

де f – фокусна відстань системи, $\bar{B}$ – середнє значення аксіальної компоненти магнітного поля. Для типових значень $f = 10$ см, $\bar{B} = 10^{-3}$ Тл маємо $\delta \approx 0.1$ Å. Такий результат узгоджується з висновком автора роботи [1], що визначальним чинником для граничної роздільної здатності електронного мікроскопу є теплові флуктуації у системі лінз.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Reich E.S. Imaging hits noise barrier: Physical limits mean that electron microscopy may be nearing highest possible resolution. *Nature* 499, 135–136 (11 July 2013).