УДК 535.8
Котелюк А.О.[1], Коротун А.В.[2,3], Погосов В.В.[2]
[1] студ. гр. БК-422 НУ «Запорізька політехніка»
[2] проф. НУ «Запорізька політехніка»
[3] с.н.с. Інституту металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ НА МОЖЛИВОСТІ МАНІПУЛЮВАННЯ НАНОЧАСТИНКАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ СФОКУСОВАНИХ ЛАЗЕРНИХ ПРОМЕНІВ

Більше 50-ти років тому було продемонстровано можливість захоплення та маніпулювання мікрочастинками за допомогою оптичного пінцету – сильно сфокусованих лазерних променів. Вказану можливість забезпечує сила тиску випромінювання, яка виникає внаслідок поляризації мікрочастинок під дією світла.

Проте, надалі з'ясувалося, що маніпулювання наночастинками й окремими молекулами стикається з принциповими труднощами.

Це пов'язане з тим, що оптична сила, а отже, й утримуючий потенціал пропорційні поляризовності наночастинки, яка, в свою чергу, пропорційна її об'єму. Отже, при переході від мікро- до нанорозмірів утримуючий потенціал зменшується в $\sim 10^9$ разів і стає меншим за енергію теплових флуктуацій. Для вирішення цієї проблеми були запропоновані так звані плазмонні оптичні пінцети, які використовують локалізовані поверхневі плазмони для збільшення оптичної сили та можуть подолати обмеження та недоліки традиційних оптичних пінцетів.

Вказане вище зростання оптичної сили є можливим за рахунок суттєвого зростання поляризовності на частотах, близьких до частоти поверхневого плазмонного резонансу. При цьому рух захопленої наночастинки обмежений нанопростором, суттєво меншим за дифракційну межу світла. Крім того, плазмонне оптичне захоплення може бути поєднане з такими важливими практичними застосуваннями плазмоніки, як прискорення хімічних реакцій (фотокаталіз) та високочутливі хімічні і біологічні наносенсори на поверхневому плазмонному резонансі. Тому питання дослідження ефектів, що виникають при плазмонному оптичному захопленні та подальшому маніпулюванні наночастинками є актуальним.

Відомо, що підсилення електричних полів при збудженні поверхневих плазмонних резонансів призводить до зростання утримуючої наночастинку оптичної сили.

При цьому підсилення в околі ізольованої наночастинки є малим у порівнянні з підсиленням полів у зазорі між наночастинками. Тому в роботі дос-

ліджуватимемо частотну залежність поздовжнього підсилення полів у зазорі між наночастинками. Вираз для такої залежності має вигляд [1]

$$\mathcal{F} = 16\sqrt{\varepsilon_g}\ln 2\left(\frac{R}{d}\right)^2 Q(\omega), \qquad (1)$$

де R – радіус наночастинок (вважаємо, що наночастинки мають однаковий радіус та виготовлені з одного металу); d – відстань між наночастинками; ε_g – діелектрична проникність матеріалу зазору; $Q(\omega)$ – частотна залежність добротності зазору, який у розглянутому випадку можна вважати плазмонним резонатором – пасткою для захоплених об'єктів, розмір яких менший за величину зазору (наприклад, органічних молекул).

За результатами розрахунків було встановлено, що підсилення полів суттєво зростає зі зменшенням розміру зазору, особливо в нанометровому діапазоні. Таке суттєве підсилення локальних електричних полів забезпечує великий внесок градієнта поля в утримуючі сили.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zhang Y., Min C., Dou X., Wang X., Urbach H. P., Somekh M. G., Yuan X. Plasmonic tweezers: for nanoscale optical trapping and beyond. *Light: Science & Applications*. 2021. Vol. 10. Art. 59.