

Національний університет «Запорізька політехніка»

Кафедра інформаційної безпеки та наноелектроніки



МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

**Інфрачервоне поглинання
композитом зі сферичними
металевими включеннями**

Виконала:
ст. групи РТ-312м

Керівник:
професор, в.о. зав.
кафедри ІБтаН

Марина СУВОРОВА

Андрій КОРОТУН

Мета та актуальність дослідження

- Мета роботи: дослідження частотних залежностей коефіцієнта поглинання метал-діелектричних нанокомпозитів.
- Об'єкт та предмет дослідження: об'єктом дослідження виступають нанокомпозити зі сферичними металевими включеннями; предметом дослідження є оптичні характеристики зазначених композитів.

Постановка задачі

Коефіцієнт поглинання

$$\eta(\omega) = \frac{2\omega}{c\sqrt{\epsilon_m}} \operatorname{Im} \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}(\omega) \mu_{\text{eff}}(\omega)}$$

$$\epsilon_{\text{eff}}(\omega) = \frac{1 + 2Z^e}{1 - Z^e}$$

$$\mu_{\text{eff}}(\omega) = \frac{1 + 2Z^m}{1 - Z^m}$$

$$Z^e = \beta \epsilon_m \frac{\epsilon(\omega) - \epsilon_m}{\epsilon(\omega) + 2\epsilon_m}$$

$$Z^m = \beta \frac{(qR)^2}{30} (\epsilon(\omega) - \epsilon_m)$$

Постановка задачі

Діелектрична функція

$$\epsilon = \epsilon^\infty - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\tau^{-1})}$$

$$\frac{1}{\tau_{\text{eff}}} = \frac{1}{\tau_{\text{bulk}}} + \frac{1}{\tau_s} + \frac{1}{\tau_{\text{rad}}} \quad \tau_{\text{bulk}} = \text{const}$$

час об'ємної релаксації електронів, а час поверхневої релаксації τ_s і радіаційного загасання τ_{rad} визначаються співвідношеннями

$$\frac{1}{\tau_s} = \frac{\text{Re}\sigma(\omega)}{\epsilon_0(2\epsilon_m + 1)}$$

$$\frac{1}{\tau_{\text{rad}}} = \frac{2}{27\epsilon_0} \left(\frac{\omega_p R}{c} \right)^3 \frac{\text{Re}\sigma(\omega)}{\sqrt{\epsilon_m(\epsilon^\infty + 2\epsilon_m)}}$$

$$\text{Re}\sigma(\omega) = \frac{3}{2}\epsilon_0\omega_p^2 \frac{R}{v_F} \text{Re} \left\{ \frac{28}{15q} - \frac{3}{q^2} + \frac{8}{q^4} - \frac{24}{q^6} + \frac{4}{q^3} \left[-1 + \frac{1}{q} + \frac{6}{q^2} \left(1 + \frac{1}{q} \right) \right] e^{-q} \right\}$$

Постановка задачі

5

Діелектрична функція композита

$$\epsilon_{\text{eff}} = \epsilon_m + \beta \frac{3\epsilon_m (\epsilon - \epsilon_m)}{\epsilon + 2\epsilon_m}$$

Дійсна частина

$$\text{Re}\epsilon_{\text{eff}} = \epsilon_m \left(1 + 3\beta - 9\beta\epsilon_m \frac{\text{Re}\epsilon}{|\epsilon|^2} \right)$$

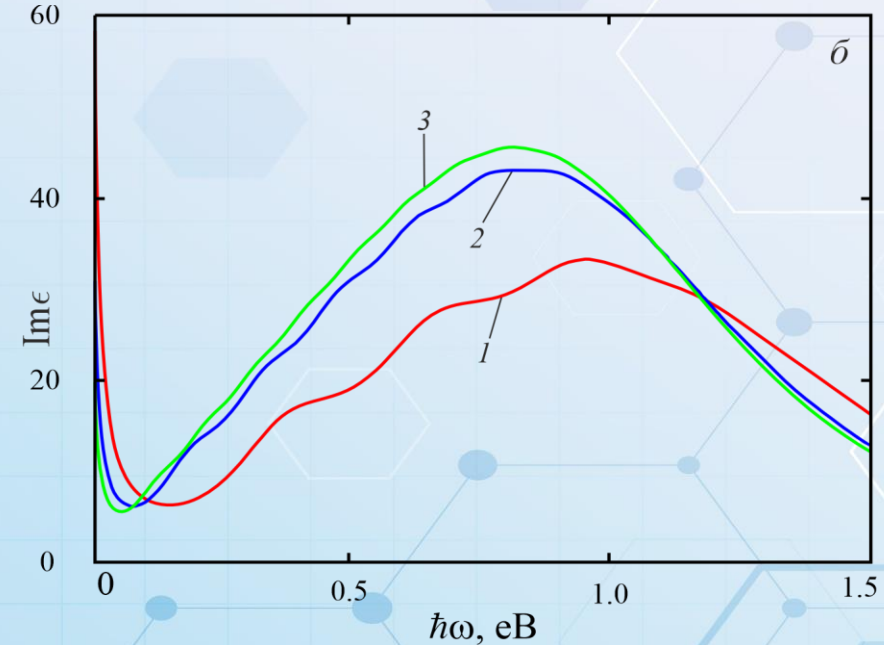
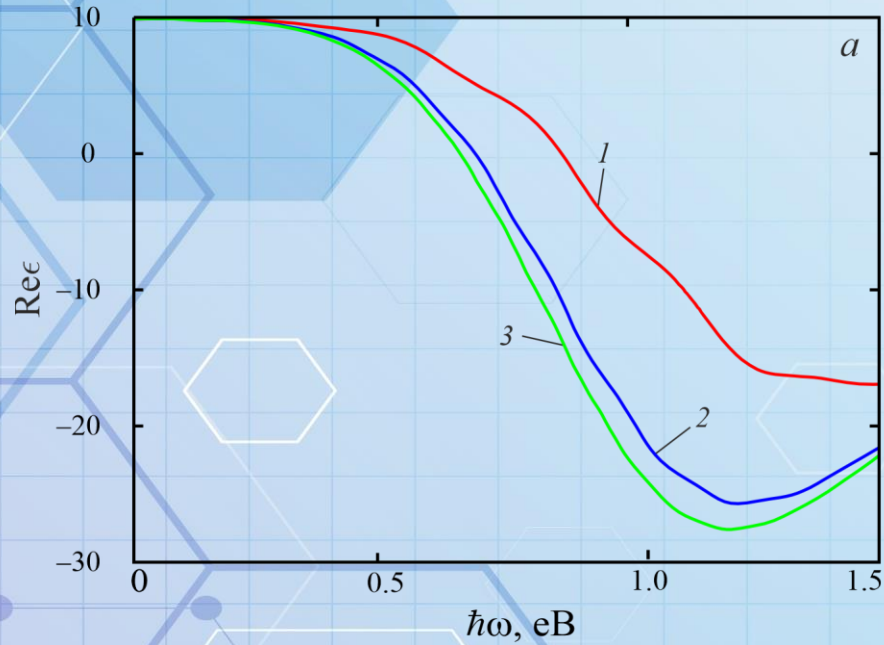
Уявну частина

$$\text{Im}\epsilon_{\text{eff}} = 9\beta\epsilon_m^2 \frac{\text{Im}\epsilon}{|\epsilon|^2}$$

Коефіцієнт поглинання в електричному дипольному
наближенні

$$\eta_e = \frac{2\omega}{c} \text{Im}\sqrt{\epsilon_c} = \frac{2\omega}{c} y = \frac{2\omega}{c} \frac{9}{2} \beta \epsilon_m^{\frac{3}{2}} \frac{\text{Im}\epsilon}{|\epsilon|^2} = \frac{9\beta\omega}{c} \epsilon_m^{\frac{3}{2}} \frac{\text{Im}\epsilon}{|\epsilon|^2}$$

Частотні залежності діелектричної функції наночастинок Au різного радіусу в тефлоні

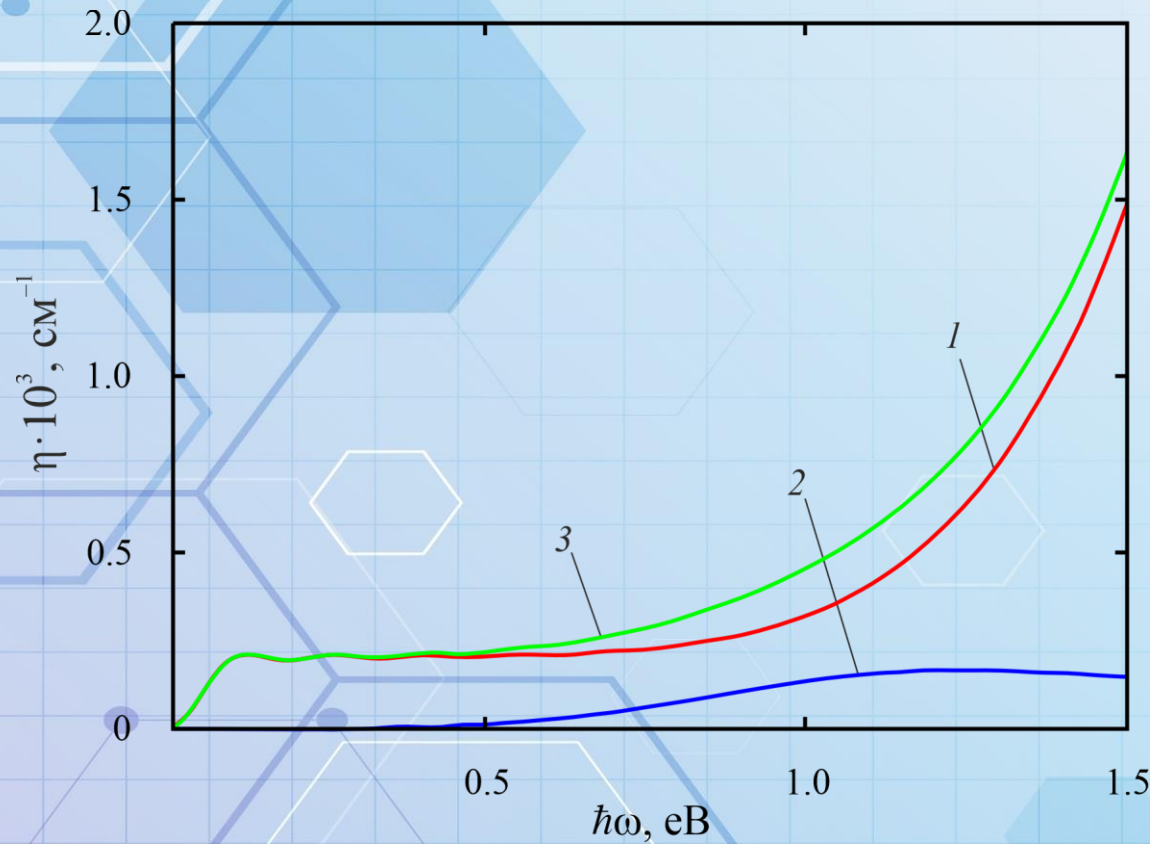


1 - $R = 10$ нм

2 - $R = 20$ нм

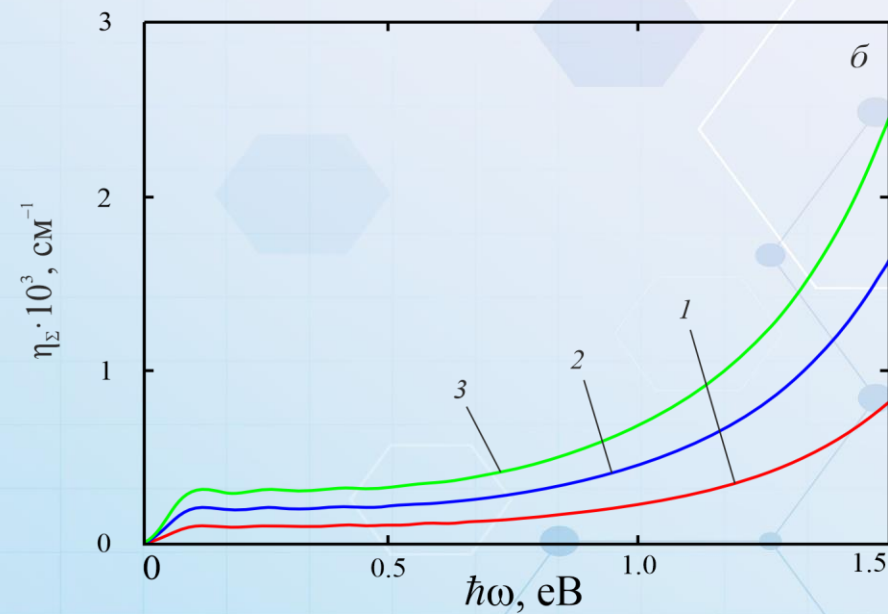
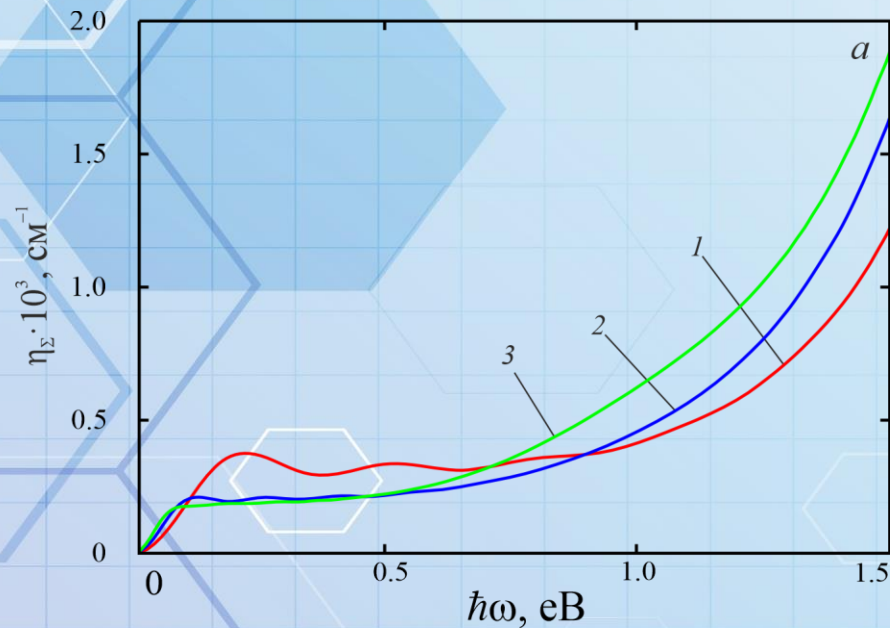
3 - $R = 30$ нм

Частотні залежності коефіцієнта поглинання наночастинок Au радіусом $R=20$ нм у тефлоні



- 1 – електричне дипольне поглинання;
- 2 – магнітне дипольне поглинання;
- 3 – сумарне дипольне поглинання

Частотні залежності коефіцієнта поглинання композиту із наночастинками Au в тефлоні



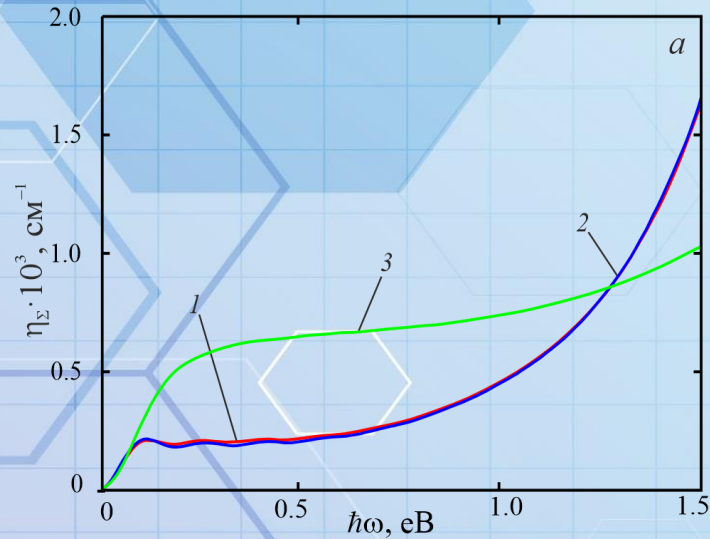
a) наночастинки різного радіусу з $\beta = 0,10$:

1 - $R = 10$ нм; 2 - $R = 20$ нм; 3 - $R = 30$ нм;

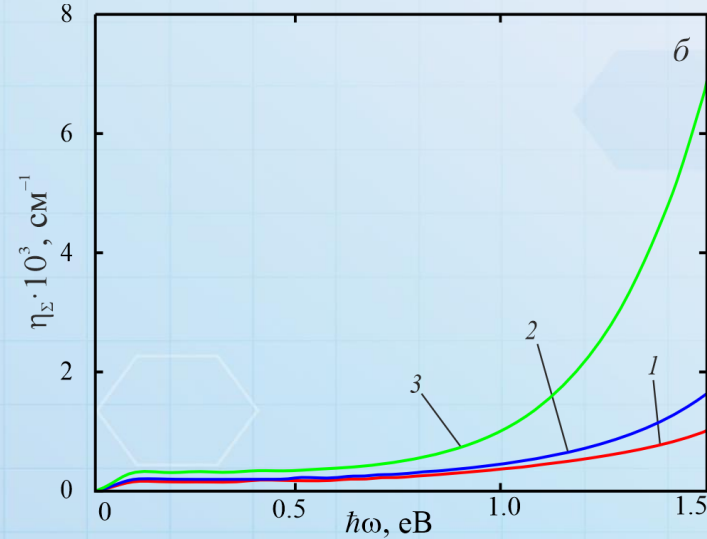
б) наночастинки радіусом $R = 20$ нм з різною об'ємною фракцією:

1 - $\beta = 0,05$; 2 - $\beta = 0,10$; 3 - $\beta = 0,15$

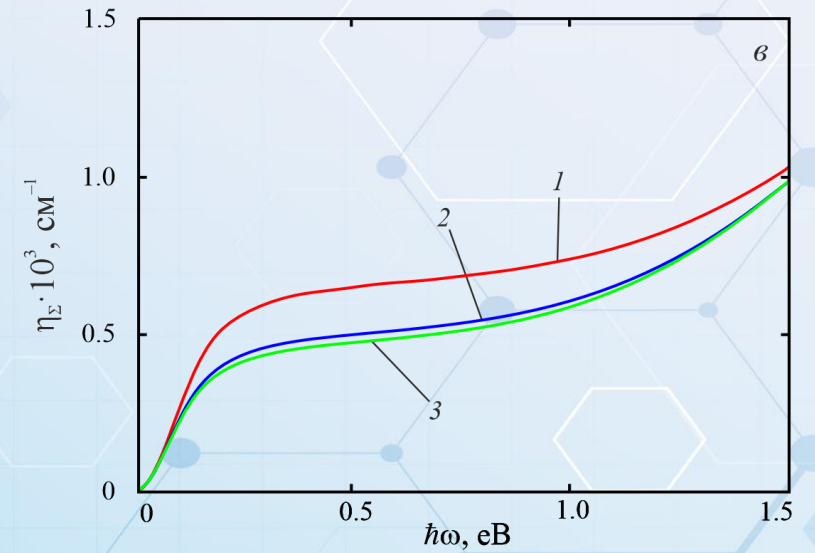
Частотні залежності коефіцієнта поглинання композиту з металевими наночастинками в діелектричному середовищі



a) частинки різних металів у тефлоні
1 – Au; 2 – Ag; 3 – Al;



б) частинки Au у різних матрицях:
1 – Ag; 2 – тефлон; 3 – KCl;



в) частинки Al у тефлоні з різною ефективною масою:
1 - $m^* = 1,06m_e$; 2 - $m^* = 1,48m_e$;
3 - $m^* = 1,60m_e$

- Одержано співвідношення для коефіцієнта дипольного поглинання композиту зі сферичними металевими наночастинками в інфрачервоному діапазоні спектра з урахуванням електричної та магнітної складових.
- Показано, що дійсна частина діелектричної функції зменшується, а уявна – збільшується зі збільшенням радіусу наночастинок, що пов'язане зі збільшенням зворотного ефективного часу релаксації у вказаному випадку.
- Встановлено, що у ближньому інфрачервоному діапазоні частот разом із електричним необхідно враховувати й магнітне дипольне поглинання, в той час як у дальньому інфрачервоному та оптичному діапазонах електричне дипольне поглинання суттєво переважає магнітне.

- Доведено, що оскільки за поглинання в композиті відповідають металеві наночастинки, коефіцієнт поглинання збільшується зі збільшенням радіусу частинок-включень та об'ємному вмісту металевої фракції.
- Продемонстровано, що матеріал частинок-включень та матричного середовища суттєво впливає на коефіцієнт поглинання. Так, зі збільшенням діелектричної проникності матриці зростає коефіцієнт поглинання. В той же час, практично у всій інфрачервоній області частот коефіцієнт поглинання композиту з частинками алюмінію суттєво перевищує аналогічну величину для композитів із частинками інших металів