

УДК 535:537:539:546

## РОЗРАХУНОК КУТОВОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЩО РОЗСІЯНЕ ПОВЕРХНЕЮ ФОТОПРУЖНОГО СЕРЕДОВИЩА

О.Ю. Семчук\*, В.Є. Клименко

*Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка Національної академії наук України  
вул. Генерала Наумова 17, Київ 03164, Україна*

*В рамках теорії некогерентного розсіяння, обумовленого взаємодією електромагнітної хвилі з флуктуаціями поверхневих хвиль Релея, розрахована кутова залежність випромінювання, розсіяного поверхнею фотопружного середовища. Аналіз інтегрального коефіцієнта розсіяння свідчить, що неоднорідність діелектричної проникності дає суттєвий внесок в його величину при кутах розсіяння до 35°. З подальшим збільшенням кута розсіяння визначальним стає фотопружний механізм розсіяння.*

### ВСТУП

Поряд з традиційними методами дослідження поверхні, такими, наприклад, як рентгеноелектронна спектроскопія, мас-спектрометрія вторинних іонів, все більшої ваги набувають оптичні методи. Цей напрямок є перспективним, оскільки оптичні методи мають низку переваг – вони високочутливі та безінерційні, дають можливість досліджувати швидкоплинні процеси і, нарешті, є незамінними при аналізі процесів перетворення енергії.

Серед оптичних методів дослідження поверхні вирізняється мандельштам-бриллюєнівське розсіяння як засіб вивчення пружних та фотопружних властивостей матеріалів, зокрема магнетиків [1], непрозорих твердих тіл та тонких плівок [2].

Після експериментальної роботи Мішри та Брея [3], які показали, що розсіяння світла на флуктуаціях поверхні є визначальним для напівпровідників, з'явилася низка робіт [4–6], де це явище було розглянуто теоретично. В них вважалось, що флуктуації поверхні виникають внаслідок збурення поверхневих фононів. Були розраховані амплітуда та спектр флуктуацій, отримано вираз для диференційного перерізу розсіяння світла на об'ємних фонах і хвилях Релея та Лемба.

### РОЗРАХУНКОВА ФОРМУЛА

В роботах [7, 8] був розвинений теоретичний підхід для опису явища некогерентного розсіяння світла, викликаного взаємодією падаючої електромагнітної хвилі частоти  $\omega_0$  з флуктуаціями поверхневих хвиль Релея на границі ізотропного фотопружного середовища, та отримано формулу, що визначає інтегральний коефіцієнт некогерентного відбивання світла від цієї поверхні.

$$R = \frac{\pi h}{2\rho v_t} \left(\frac{\omega_0}{c}\right)^4 \frac{\Psi(\gamma) \operatorname{cth}\left(\frac{h\alpha v_t \omega_0 \sin\theta}{2ckT}\right)}{\varepsilon_0^2 \cos\theta \left(1 + \frac{\sqrt{\varepsilon_0 - \sin^2\theta}}{\varepsilon_0 \cos\theta}\right)^2} \times \quad (1)$$

$$\times \left\{ \frac{\alpha^6}{4} (\varepsilon_0 - 1) \Phi_1 + \alpha^2 (\sqrt{\varepsilon_0} + 1) \Phi_2 \sin^2\theta + \frac{a_1^2 \sin^2\theta}{(1 + \sqrt{\varepsilon_0})^2} \sqrt{\frac{1 - \alpha^2}{1 - \alpha^2 \gamma^2}} \left[ \Phi_3 + \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 \Phi_4 + \frac{a_2}{a_1} \Phi_5 \right] \right\},$$

де  $\rho$  – густина кристала,  $\varepsilon_0$  – статична діелектрична проникність. Вирази для величин  $\Phi_1$ – $\Phi_5$ , що близькі до одиниці та слабо залежать від кута розсіяння  $\theta$ , функції

\* контактний автор [semchuk@isc.gov.ua](mailto:semchuk@isc.gov.ua)

$\Psi(\gamma)$ , значення параметрів  $v_i$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$  та фотопружних констант  $a_1$ ,  $a_2$  наведено в [7–9].

### ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК

Розрахунок кутової залежності розсіяного випромінювання проводився за формулою (1) з використанням стандартної програми Mathematica 6.0 і значень параметрів:  $\gamma=0,6$ ,  $\alpha=0,91$ ,  $\omega_0=6 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$ ,  $\varepsilon_0=4$ ,  $\rho=2 \text{ кг/м}^3$ ,  $v_1=2 \cdot 10^5 \text{ м/с}$  [7, 8],  $a_1=a_2=1,33$  [9]; при цьому  $\Psi(0,6)=1,6$ . Результати розрахунків наведено на рисунку.

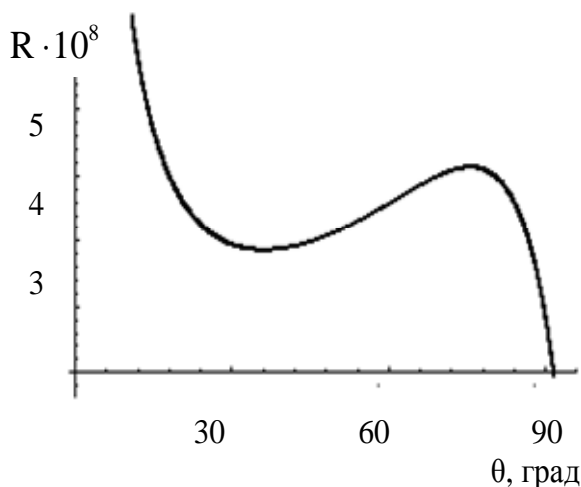


Рис. Кутова залежність сумарного коефіцієнта некогерентного розсіяння світла

З рисунка видно, що неоднорідність діелектричної проникності дає внесок в сумарний коефіцієнт некогерентного відбивання світла фотопружним середовищем при кутах розсіяння  $\theta \leq 35^\circ$ , причому, з подальшим зростанням кута розсіяння величина  $R$  швидко спадає і вже при  $\theta \sim 35^\circ$  досягає мінімуму, рівного  $3,85 \cdot 10^{-8}$ . З подальшим збільшенням  $\theta$  основну роль починає відігравати фотопружний механізм розсіяння, визначаючи максимум  $R$ , рівний  $5,12 \cdot 10^{-8}$  при  $\theta \sim 72^\circ$ , і прямування до нуля при кутах відбивання, близьких до  $90^\circ$ .

### ВИСНОВКИ

Вивчення мандельштам-бриллюєнівського розсіяння світла від фотопружного середовища цікаве з ряду причин. Насамперед, розрахунок теплових флуктуацій дозволяє

визначити параметри поверхні, а детальний аналіз перерізу розсіяння дає можливість одержати інформацію про стан поверхні, взаємодію різних поверхневих груп атомів, перебіг хімічних реакцій та про процеси перетворення і трансформації енергії на поверхні, а також встановити характер розсіюючої поверхні.

Зауважимо також, що при великих інтенсивностях падаючого випромінювання вже з самого початку потрібно враховувати його вплив на рух фотопружного середовища. Останній, як відомо, приводить до виникнення вимушеного розсіяння на поверхневих хвилях, характерною особливістю якого є поріг інтенсивності  $I_p \sim 10^8 \text{ Вт/см}^2$ . Тому при експериментальному вивченні відбивання світла від фотопружного середовища необхідно вибирати інтенсивність падаючого випромінювання такою, щоб вона була меншою від  $I_p$ , але достатньою для спостереження некогерентного випромінювання з урахуванням коефіцієнта відбивання.

### ПОДЯКА

Автори вдячні О.І. Гічан за допомогу в проведенні чисельних розрахунків.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Cherif S.M., Dugautier C., Hennequin J.-F., Moch P. Brillouin light scattering by magnetic surface waves in dot-structured permalloy layers // J. Magn. Magn. Mater. – 1997. – V. 175, N 3. – P. 228–236.
2. Comins J.D., Every A.G., Stoddart P.R. et al. Surface Brillouin scattering of opaque solids and thin supported films // Ultrasonics. – 2000. – V. 38, N 1-8. – P. 450–458.
3. Mishra S., Bray R. Surface-ripple mechanism for Brillouin scattering of reflected light from bulk acoustic waves // Phys. Rev. Lett. – 1977. – V. 39, N 4. – P. 222–225.
4. Rowell N.L., Stegermann G.I. Theory of Brillouin scattering from opaque media // Phys. Rev. B. – 1978. – V. 18, N 6. – P. 2598–2615.

5. London R., Sandercock J.R. Analysis of the light-scattering cross section for surface ripples on solids // J. Phys. C. – 1980. – V. 13, N 13. – P. 2609–2621.
6. Velasco V.R., Garsia-Moliner F. Brillouin scattering from surface waves // Solid State Commun. – 1980. – V. 33, N 1. – P. 1–5.
7. Semchuk A.Yu., Grechko L.G., Motrich V.V., Ogenko V.M. Non-coherent light reflection from photoelastic media // Phys. Status Solidi B. – 1992. – V. 173, N 2. – P. 725–731.
8. Гречко Л.Г., Семчук О.Ю., Білокриницька Л.М., Стеценко О.М. Взаємодія електромагнітної хвилі з флуктуаціями поверхневих хвиль Релея в фотопружньому середовищі // Вісник Київського університету. Серія: фізико-математичні науки. – 2009. – № 3. – С. 303–310.
9. Нарасимхамурти Т. Фотоупругие и электрооптические свойства кристаллов. – Москва: Мир, 1984. – 624 с.

Надійшла 05.11.2010, прийнята 26.11.2010

### **Расчет угловой зависимости излучения, рассеянного поверхностью фотопружной среды**

**А.Ю. Семчук, В.Е. Клименко**

*Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко Национальной академии наук Украины  
ул. Генерала Наумова 17, Киев 03164, Украина, semchuk@isc.gov.ua*

*В рамках теории некогерентного рассеяния, обусловленного взаимодействием электромагнитной волны с флуктуациями поверхностных волн Релея, рассчитана угловая зависимость рассеянного поверхностью фотопружной среды излучения. Анализ интегрального коэффициента рассеяния показывает, что неоднородность диэлектрической проницаемости дает существенный вклад в его величину при углах рассеяния до 35°. При дальнейшем увеличении угла рассеяния определяющим становится фотопружий механизм рассеяния.*

### **Calculation on Angular Dependence of Irradiation Scattering by Surface of Photoelastic Media**

**O.Yu. Semchuk, V.E. Klymenko**

*Chuiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine  
17 General Naumov Street, Kyiv 03164, Ukraine, semchuk@isc.gov.ua*

*The angular dependence of irradiation scattering by surface of photoelastic media is calculated within the framework of the theory of noncoherent scattering caused by the interaction of electromagnetic wave with fluctuations of Rayleigh surface waves. The analysis of integral scattering factor demonstrates that the heterogeneity of permittivity gives an essential input to value of the former at scattering angles up to 35°. With the further increase in scattering angle, the photoelastic mechanism of scattering becomes already decisive.*