

Поверхностные поляритоны на границе нанокompозита

В.В. Яцъишен

Волгоградский государственный университет
400062, Российская Федерация, г. Волгоград
Университетский пр., 100

В работе проведен анализ свойств поверхностных поляритонов на границе нанокompозита, образованного наночастицами резонансного полупроводникового материала в диэлектрической матрице. Показано, что с увеличением концентрации наночастиц частота поверхностного поляритона в нанокompозите растет. В частотном спектре постоянной распространения поверхностного поляритона это приводит к смещению максимума постоянной распространения в сторону увеличения частоты. При изменении диэлектрической проницаемости матрицы нанокompозита частота поверхностного поляритона уменьшается с ростом диэлектрической проницаемости.

Ключевые слова: поверхностный поляритон, нанокompозит, диэлектрическая проницаемость, дисперсионное уравнение, модель Максвелла – Гарнета.

Нанокompозитные материалы в последнее время привлекают внимание многих исследователей. Причина заключается в возможности эффективного управления свойствами материала. В этом контексте исследование характера поверхностных поляритонов и поверхностных плазмонов для нанокompозитных материалов представляет не только научный, но и прикладной аспекты. Поверхностные поляритоны и плазмоны могут возбуждаться в метаматериалах, исследование которых составляет в настоящее время особое направление в радиофизике и физике конденсированных сред [2–5].

В настоящей работе мы проведем анализ свойств поверхностных поляритонов на границе нанокompозита, образованного наночастицами из резонансного полупроводникового материала в диэлектрической матрице.

Как известно [1], поверхностные поляритоны могут возбуждаться на границе изотропного материала в случае, когда благодаря частотной дисперсии диэлектрическая проницаемость материала принимает отрицательные значения.

Рассмотрим случай, когда диэлектрическая проницаемость наночастиц композита имеет резонансный характер и имеет вид

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_{\infty} \frac{\Omega_{\parallel}^2 - \omega^2 - i\omega\Gamma}{\Omega_{\perp}^2 - \omega^2 - i\omega\Gamma},$$

здесь ω – частота электромагнитной волны; Ω_{\parallel} , Ω_{\perp} – соответственно продольная и поперечная частоты частицы; Γ – параметр затуха-

ния; ε_{∞} – диэлектрическая проницаемость при $\omega \rightarrow \infty$. При $\omega \rightarrow 0$ диэлектрическая проницаемость принимает значение

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_{\infty} \frac{\Omega_{\parallel}^2}{\Omega_{\perp}^2}.$$

Отсюда можно получить значение Ω_{\parallel} по известным Ω_{\perp} , ε_0 , ε_{∞} . Расчеты характеристик поверхностных поляритонов проводились при следующих значениях параметров $\Omega_{\perp} = 500 \text{ см}^{-1}$, $\varepsilon_0 = 5$, $\varepsilon_{\infty} = 2$, $\Gamma = 10 \text{ см}^{-1}$.

В случае композитного материала диэлектрическая проницаемость нанокompозита будем вычислять с помощью модели Максвелла – Гарнета

$$\frac{\varepsilon_{mix} - \varepsilon_d}{\varepsilon_{mix} + 2\varepsilon_d} = f \frac{\varepsilon(\omega) - \varepsilon_d}{\varepsilon(\omega) + 2\varepsilon_d}. \quad (1)$$

Здесь f – относительный объем наночастиц в композите; ε_d – диэлектрическая проницаемость матрицы композита. Для расчета использованы следующие значения параметров $f = 0.8$, $\varepsilon_d = 2.56$.

Из формулы (1) можно найти диэлектрическую проницаемость нанокompозитного материала

$$\varepsilon_{mix} = \varepsilon_d \frac{\beta_1 \varepsilon + 2\beta_0 \varepsilon_d}{\beta_0 \varepsilon + \beta_2 \varepsilon_d}.$$

Здесь

$$\beta_0 = 1 - f, \beta_1 = 1 + 2f, \beta_2 = 2 + f.$$

На рис. 1 показаны графики действительных и мнимых частей диэлектрической проницаемости для наночастиц исходного материала. Отрицательные значения действительной части диэ-

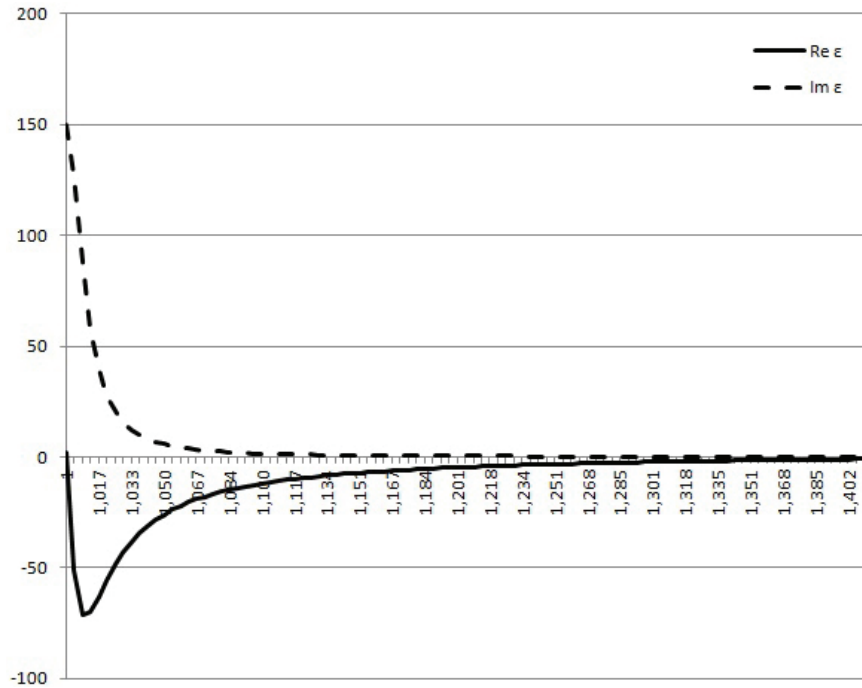


Рис. 1

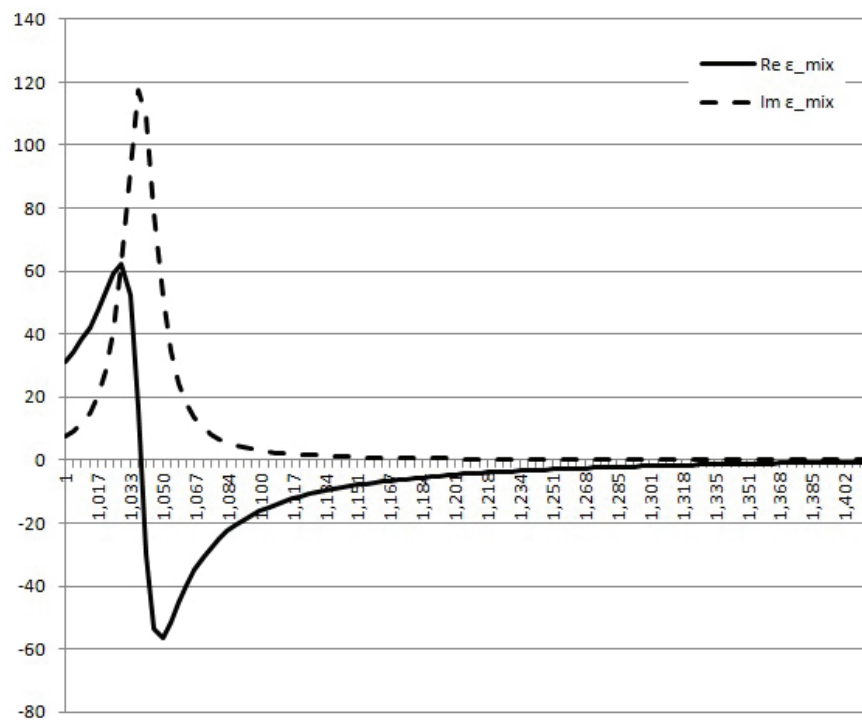


Рис. 2

лектрической проницаемости отвечают области возбуждения поверхностных поляритонов. На этих и последующих частотных зависимостях по оси абсцисс показана относительная частота $y = \omega / \Omega_{\perp}$.

На рис. 2 показаны частотные зависимости действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости всего нанокompозита.

Сравнивая графики на обоих рисунках мы видим, что области частот, где действительная

часть диэлектрической проницаемости отрицательна, отличаются для случая чистого полупроводника и нанокompозита.

Нами проведен анализ дисперсионных кривых для поверхностных поляритонов на границе диэлектрик-изотропный резонансный материала имеет следующий вид

$$n_{\parallel}^2 = \frac{\epsilon_1 \epsilon_{mix}}{\epsilon_1 + \epsilon_{mix}}.$$

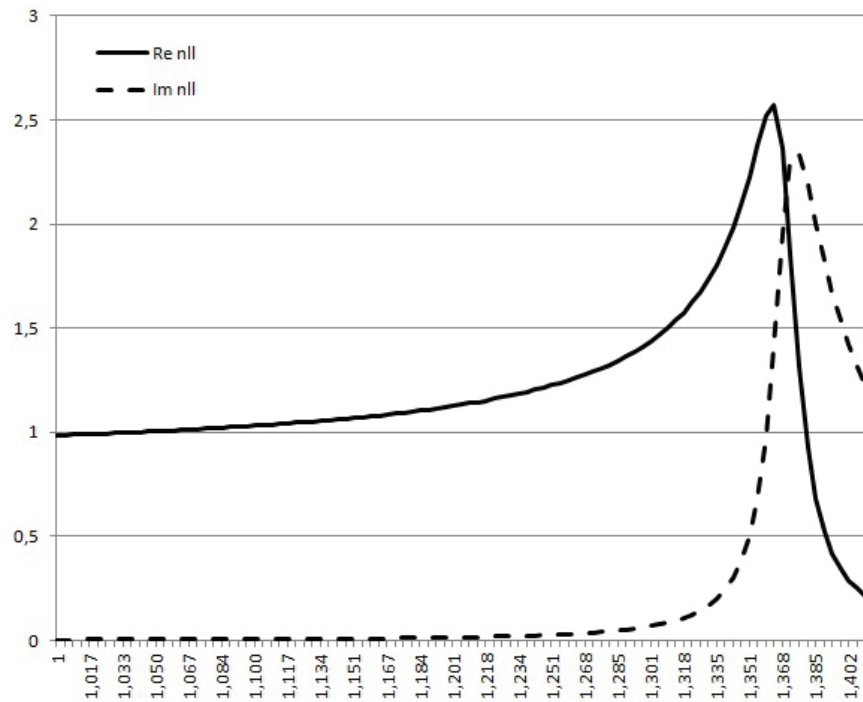


Рис. 3

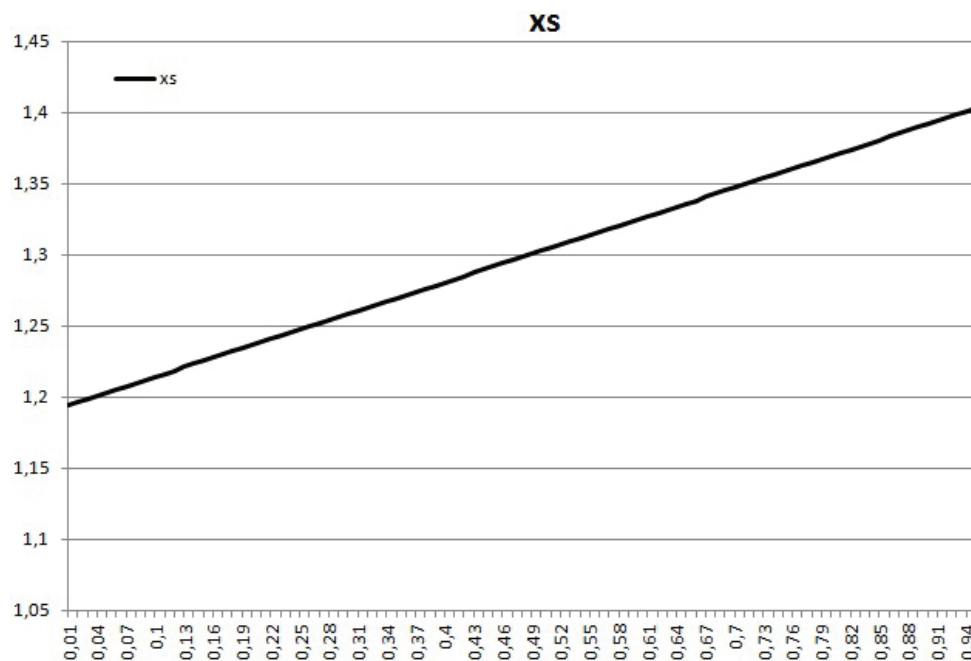


Рис. 4

Здесь $n_{||} = ck_{||} / \omega$; c – скорость света; $k_{||}$ – волновое число поверхностного поляритона.

На рис. 5 изображены графики зависимостей действительной и мнимой частей параллельной составляющей волнового вектора поверхностного поляритона от частоты.

Мы провели анализ зависимости относительной частоты поверхностного поляритона от объемной концентрации наночастиц f , а также от значения диэлектрической проницаемости ϵ_d матрицы нанокompозита. Зависимость от концентрации показана на рис. 4. Видно, что с уве-

личением концентрации частота поверхностного поляритона в нанокompозите растет. В частотном спектре постоянной распространения поверхностного поляритона это приводит к смещению максимума постоянной распространения в сторону увеличения частоты. На рис. 5 показана зависимость частоты частоты поверхностного поляритона от значения диэлектрической проницаемости матрицы нанокompозита. В этом случае частота поверхностного поляритона уменьшается с ростом диэлектрической проницаемости матрицы нанокompозита.

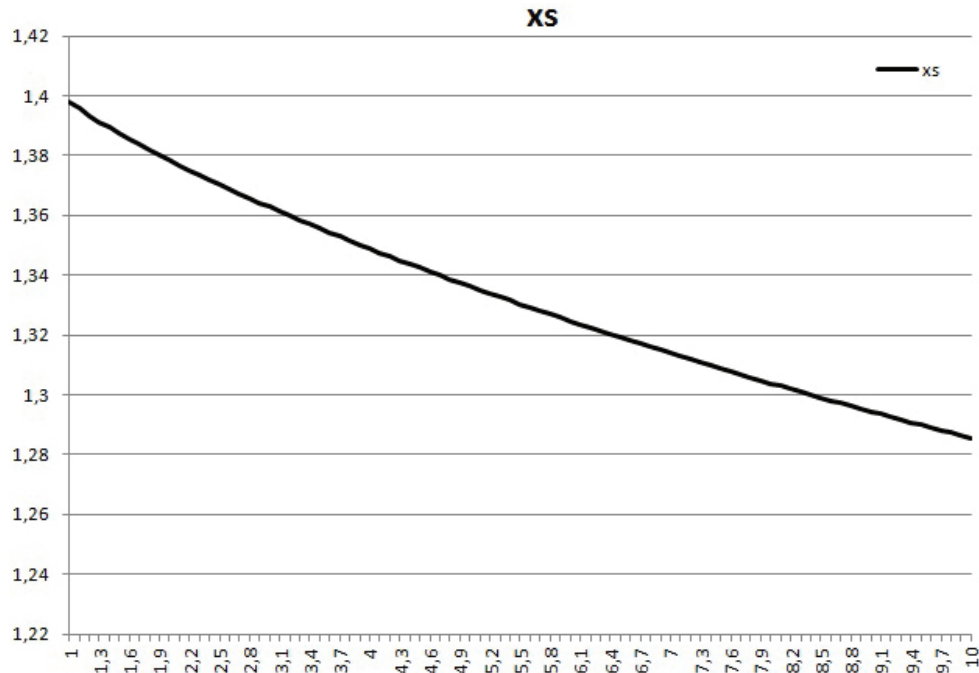


Рис. 5

Анализ проведенный в данной работе показывает на широкие возможности управления параметрами поверхностных поляритонов в нанокомпозитах из полупроводниковых наночастиц в диэлектрической матрице.

Список литературы

1. Поверхностные поляритоны. Электромагнитные волны на поверхностях и границах раздела сред / под ред. В.М. Агранович, Д.Л. Миллс. М.: Наука, 1985. 525 с.
2. Metamaterials for Perfect Absorption / Y.P. Lee [et al.]. Berlin: Springer Science, 2016. 176 p.
3. Reviews in Plasmonics 2015 / ed. by C.D Geddes. Basel: Springer International Publishing Switzerland, 2016. 453 p.
4. Aleksandrov Y.M., Yatsishen V.V. Surface polaritons with negative group velocity in structure with transition layer // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2016. Vol. 8. № 1. P. 01013-1-3.
5. Aleksandrov Y.M., Yatsishen V.V. Negative group velocity of surface polaritons in metal foil nanostructure // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2017. Vol. 9. № 3. P. 03039-1-4.

Surface polaritons on the nanocomposite boundary

V.V. Yatsishen

In this work the analysis of the properties of surface polaritons on the boundary of the nanocomposite formed by nanoparticles of a semiconductor material resonance in the dielectric matrix. It is shown that with increasing concentration of nanoparticles the frequency of surface polariton in the nanocomposite increases. In the frequency spectrum of the constant propagation of the surface polariton, this leads to a shift in the maximum of the constant propagation in the direction of increasing the frequency. When the permittivity of the nanocomposite matrix changes, the frequency of the surface polariton decreases with increasing permittivity.

Keywords: surface polariton, nanocomposite, dielectric constant, dispersion equation, the model of Maxwell – Garnett.