

## ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОВЕСНОЙ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ НА ЗАТУХАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

к.т.н. Г.Ф. Коляхин, к.т.н. А.Ю. Мелашенко, В.В. Белимов,  
к.ф.-м.н. В.Е. Новиков, к.т.н. А.М. Сотников  
(представил проф. В.Е. Пустоваров)

*Показано, что затухание электромагнитных волн (ЭМВ) в твердотельной плазме радиоизотопно - полупроводникового покрытия (РПП) определяется интенсивностью его радиоизотопного слоя и может быть обеспечено в широком диапазоне длин волн.*

В работе [1] была оценена дисперсия волн в твердотельной плазме и показаны условия поглощения и прохождения ЭМВ в такой среде с сильно неравновесной функцией распределения электронов степенного вида. Вычислим продольную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon'(\omega, \vec{k})$  РПП, используя формулу для дебаевского радиуса неравновесной высокоэнергетичной компоненты плазмы [2 - 4]:

$$\epsilon(\omega, \vec{k}) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} + \frac{k_{ds}^2}{k^2}, \quad (1)$$

где волновой вектор Дебая

$$k_{ds} = k_{d0} \sqrt{\frac{n_s}{n_0} \frac{(s+3)s}{s+1} \left( \frac{x_1}{x_2} \right)^s x_1};$$

$k_{d0} = \omega_p/v_T$ ;  $x_1 = v_1/v_T$ ;  $x_2 = v_2/v_T$ ;  $v_T$  - тепловая скорость электронов,  $v_1$  и  $v_2$  - скорости электронов, которые ограничивают интервал степенной функции распределения,  $n_s$  - неравновесная плотность плазмы,  $n_0$  - равновесная плотность плазмы.

При преобразованиях интеграла мы предполагали, что показатель степени функции распределения по скоростям находится в пределах  $-3 < s < -1$ . Из приведенных соотношений получаем, что для  $s = -5/2$  волновой вектор Дебая равен

$$k_{ds} = \frac{5}{6} \left( \frac{x_1}{x_2} \right)^{5/2} x_1 k_{d0}. \quad (2)$$

Из этого следует, что закон дисперсии продольных колебаний имеет линейный (звуковой) характер  $\omega = c_s k_{ds}$ , где скорость электронного звука

$$c_s = \frac{v_T}{\frac{n_o}{n_s} \left| \frac{(s+3)s}{s+1} \left( \frac{x_1}{x_2} \right)^s x_1 \right|}. \quad (3)$$

Дисперсионная зависимость для полученной функции распределения электронов при интенсивности источника  $0.04 \text{ мк Кюри/см}^2$  приведена на рис. 1, из которого хорошо видно, что в РПП могут распространяться и эффективно затухать как радиоволны сантиметрового диапазона, так и волны более высоких частот, вплоть до плазменной частоты полупроводника  $740 \text{ ГГц}$ .

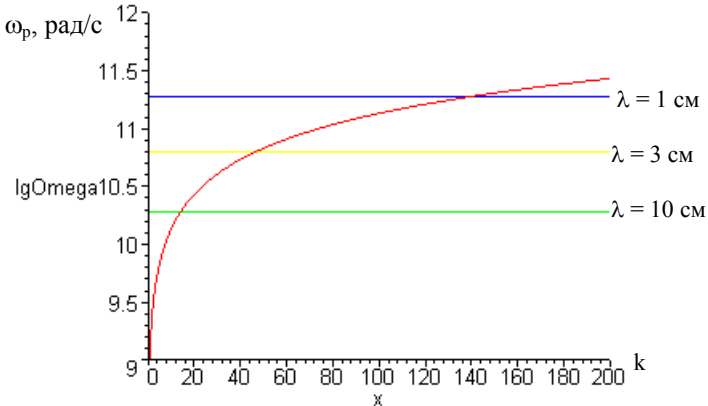


Рис. 1. Дисперсионная зависимость для неравновесной функции распределения электронов в InP при температуре  $685 \text{ К}$  и интенсивности  $0,04 \text{ мк Кюри/см}^2$

Такой вид зависимости определяется соотношением концентрации электронов в неравновесной и равновесной плазме  $\frac{n_s}{n_o}$ .

Для существования колебаний в РПП и их затухания необходимо, чтобы фазовая скорость волны находилась в области между характерными скоростями равновесной и неравновесной компонент функции распределения. Это требование приводит к необходимости выполнения следующего неравенства, связывающего интенсивность источника ионизации и размер его области действия в пространстве скоростей:

$$\frac{1}{x_1^2} \left( \frac{x_1}{x_2} \right)^{5/2} < \frac{n_s}{n_o} < \frac{1}{x_1} \left( \frac{x_1}{x_2} \right)^{5/2}. \quad (4)$$

Затухание колебаний с волновым вектором  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  в РПП может

быть оценено по формуле, учитывающей создаваемую неравновесность плазмоподобной среды покрытия

$$\frac{\gamma}{\omega} = 0.5 \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\left(\frac{k}{k_{ds}}\right)^3} \exp\left(-\frac{3}{4} \left(\frac{k_{ds}}{k}\right)^2\right). \quad (5)$$

График зависимости интенсивности затухания радиоволн в РПП от длины волны для неравновесных состояний плазмоподобной среды приведен на рис. 2.

Из этого графика видно, что при фиксированной величине интенсивности источника ионизации, максимум затухания приходится на интервал  $\lambda = 2-5$  см. Затухание волн на других частотах рассматриваемого нами диапазона отличается незначительно, т.е. затухание ЭМВ в сантиметровом диапазоне имеет один порядок.

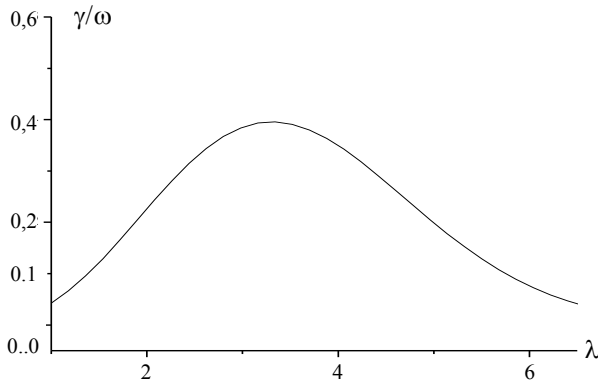


Рис. 2. График зависимости затухания от длины волны при интенсивности источника 0,04 мк Кюри/см<sup>2</sup>

Поскольку в области указанных выше фазовых скоростей происходит переход от равновесной функции распределения к неравновесной, то оценку затухания необходимо проводить по - разному в разных областях изменения скоростей. В случае приближения фазовой скорости волны к левому краю указанного диапазона затухание достаточно мало и определяется формулой (5). При значениях фазовой скорости, приближающейся к области неравновесной функции распределения, ситуация сильно меняется. Затухание резко изменяется с изменением отношения  $n_e/n_0$ , зависящего от интенсивности источника ионизации, и описывается выражением

$$\frac{\gamma}{\omega} = \pi^2 \frac{n_s}{n_0} \left( \frac{\omega_p \lambda}{c_s} \right) \left( \frac{c_s}{v_2} \right)^{s+3} (s+3). \quad (6)$$

Тогда коэффициент затухания равен

$$K_{\text{зщп}} = 10/gc \frac{2\gamma l}{\omega \lambda}, \quad (7)$$

где  $l$  – толщина покрытия.

Из выражения (7) следует, что величина коэффициента затухания определяется как интенсивностью радиоизотопного источника ( $n_s/n_0$ ), так и толщиной радиоизотопного покрытия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коняхин Г.Ф., Мелашенко А.Ю., Литвина З.Ю., Новиков В.Е. Дисперсионные свойства плазмopodobных сред с неравновесной функцией распределения // Системы обработки информации. – Харьков: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2000. – Вып. 2(8). – С. 105 - 111.
2. Силин В.П., Рухадзе А.А. Электромагнитные свойства плазмы и плазмopodobных сред. – М.: Госатомиздат, 1961. – 215 с.
3. Кац А.В., Конторович В.М. и др. Взаимосвязь равновесных и потоковых распределений // Нелинейные волны. – М.: Наука. – 1979. – С. 16 - 22.
4. Басс Ф.Г., Бочков В.С., Гуревич Ю.Г. Электроны и фононы в ограниченных полупроводниках. – М.: Наука, 1984. – С. 24 - 33.
5. Коняхин Г.Ф., Мелашенко А.Ю. О возможности уменьшения эффективной поверхности рассеяния летательных аппаратов // Информационные системы. – Харьков: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1998. – Вып. 3(11). – С. 58 – 63.

Поступила 12.03.2002

**КОНЯХИН Григорий Фатеевич**, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры ХВУ. В 1961 году окончил ХВАИУ. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, эффективность радионавигационных систем, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

**МЕЛАШЕНКО Александр Юрьевич**, канд. техн. наук, старший преподаватель Харьковского военного университета. В 1985 году окончил ХВВКИУ РВ. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

**БЕЛИМОВ Владимир Васильевич**, зам. нач. учебной части факультета ХВУ. В 1994 году окончил ХВУ. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

**НОВИКОВ Валерий Евгеньевич**, канд. физ.-мат. наук, в 1972 г. окончил физфак ХГУ. Область научных интересов – кинетическая теория газовой и твердотельной плазмы, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

**СОТНИКОВ Александр Михайлович**, канд. техн. наук, доцент, нач. кафедры ХВУ. В 1980 году окончил ХВВКИУ РВ. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, эффективность радионавигационных систем, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.