

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ПОКРЫТИЯ РАДИОИЗОТОПНОГО ТИПА

В.В. Белимов

(представил д.т.н., проф. И.М. Приходько)

Рассчитана величина коэффициента отражения лазерного излучения от покрытия радиоизотопного типа. Показано, что применение предлагаемого покрытия позволяет увеличить коэффициент отражения оптического излучения на несколько порядков.

Постановка задачи. Проблема защиты ЛА от мощного оптического излучения связана со многими трудностями. Известны несколько методов обеспечения отражения лазерного излучения от поверхности ЛА. Прежде всего, это методы пассивной защиты с помощью отражающих покрытий, как наиболее естественных средств защиты ЛА от оптического излучения [1 – 3]. Однако, такие покрытия имеют большой вес и стоимость и не могут эффективно использоваться на летательных аппаратах. Решению задачи защиты ЛА от оптического излучения посвящена работа [4]. Однако, в ней не дана оценка коэффициента отражения лазерного излучения при взаимодействии с покрытием. В этой связи возникает задача разработки метода защиты ЛА от оптического излучения, оценки его возможностей, прежде всего, с точки зрения обеспечения условий отражения оптического излучения от покрытия и оценки его величины.

Целью статьи является оценка коэффициента отражения от покрытия радиоизотопного типа при воздействии на него оптического излучения.

Расчет коэффициента отражения. Для решения этой задачи предлагается метод защиты от оптического излучения, основанный на отражении от слоя плазмы, которая возникает либо автоматически при воздействии на ЛА потоков оптического излучения, либо может создаваться искусственно. Предлагается структура покрытия радиоизотопного типа, в котором с помощью источника ионизации возбуждается твердотельная плазма в полупроводнике, имеющая неравновесное стационарное состояние. При изменении интенсивности источника ионизации изменяются дисперсионные свойства покрытия. Это приводит к тому, что при плотности неравновесной плазмы, превышающей плотность равновесной плазмы, происходит отражение оптического излучения от поверхности покрытия ЛА, так как в этом случае выполняется

условие отражения оптического излучения $n_{кр} < n_p$, где $n_{кр}$ – критическая плотность электронов, а n_p – плотность образовавшейся плазмы.

В неравновесной плазме могут существовать волны, сочетающие в себе свойства плазменных колебаний и ионного звука, т.е. акустические плазменные колебания в неравновесной твердотельной плазме. Распадные процессы при этом подобны рассеянию Мандельштама-Бриллюэна. Фазовая скорость плазменных колебаний лежит между энергией Ферми и областью сильной неравновесности.

Дисперсионное уравнение для определения инкрементов и порогов распадной неустойчивости имеет вид [4]:

$$\begin{aligned} k\Gamma_D^2 + \frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega_{ps}^2} - i \left[k^4 \Gamma_D \varepsilon_e''(\omega, k) + \frac{\omega^4}{(\omega^2 - \omega_{ps}^2)} \sigma \varepsilon_i''(\omega, k) \right] = \\ = \frac{k^2}{4} \left\{ \frac{(k - k_0 v)^2}{(k - k_0)^2} \right\} \frac{1}{2\omega\omega_0 - c^2(k^2 - 2kk_0) + i\omega_0^2 \varepsilon_e''(\omega_0)} - \\ - \frac{(k + k_0 v)^2}{(k + k_0)^2} * \frac{1}{2\omega\omega_0 - c^2(k^2 + 2kk_0) + i\omega_0^2 \varepsilon_e''(\omega_0)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где k – волновое число плазменных колебаний; k_0 – волновое число электромагнитных волн; Γ_D – радиус Дебая; ω_0 – частота электромагнитных волн; $\varepsilon_e'', \varepsilon_i''$ – мнимые части диэлектрической проницаемости электронной и ионной составляющих плазмы.

Рассмотрим область околоторговых полей. В этой области параметров неустойчивость особенно сильна, и в результате распада образуется отраженная поперечная волна. Инкремент неустойчивости, получаемый из выражения (1), может быть оценен с помощью отношения

$$\frac{\gamma_H(k)}{\omega_p} = \frac{\pi}{32} \left(\frac{k}{k_{ds}} \right)^2 \operatorname{Im}(\varepsilon(\omega, k)) \frac{a_0^2}{n_0 \Gamma_e}, \quad (2)$$

где a_0 – амплитуда плазменных шумов, возбуждаемых внешними источниками; n_0 – начальная плотность электронов в веществе; Γ_e – температура электронов в твердотельной плазме.

Мнимая часть диэлектрической проницаемости в выражении (2) вычислена для фазовой скорости $v_{ср} = \omega/k$, соответствующей резонансу между частицами и низкочастотным биением плотности в плазме. Наличие акустической ветви колебаний с групповыми скоростями, намного превышающими тепловую скорость электронов в плазме, приводит к увели-

чению на несколько порядков коэффициента отражения. Действительно, отношение инкрементов неравновесной и равновесной плазмы имеет вид

$$\frac{\gamma_H(k)}{\gamma_0(k)} = \left(\frac{k}{k_{dS}} \right)^2 \frac{\text{Im}(\varepsilon(\omega, k))}{\text{Im}(\varepsilon_0(\omega, k))}, \quad (3)$$

где k_{dS} – волновой вектор Дебая.

Мнимая часть диэлектрической проницаемости равновесной плазмы экспоненциально мала, а мнимая часть диэлектрической проницаемости неравновесной плазмы имеет степенную малость. Следовательно, инкремент неустойчивости в неравновесном случае экспоненциально нарастает с ростом отношения характерных скоростей источника по сравнению с тепловой скоростью плазмы.

Оценим отношение инкрементов неустойчивости неравновесной и равновесной плазмы, то есть оценим коэффициент отражения оптического излучения от неравновесной плазмы по сравнению с коэффициентом отражения этого излучения от равновесной плазмы. С этой целью в выражение (3) подставим значения волновых чисел k и k_{dS} :

$$\frac{\gamma_H(k)}{\gamma_0(k)} = \left(\frac{\omega_p}{v_{TE}} \frac{v_i}{\omega_{ps}} \right)^2. \quad (4)$$

Так как $v_i = 5.931 \sqrt{U} 10^7$ см/с, $U = 5 \div 25$ эВ, $\omega_{ps} = 3 \cdot 10^{13}$, $v_{TE} \approx 10^6$ см/с, то

$$\frac{\gamma_H(k)}{\gamma_0(k)} = \left(\frac{10^{13} \cdot 5.931 \cdot 10^7 \cdot \sqrt{5}}{10^6 \cdot 3 \cdot 10^{13}} \right)^2 \approx 2 \cdot 10^3. \quad (5)$$

Учитывая, что интервал энергий, в котором сосредоточена неравновесность плазмы, занимает интервал от энергии Ферми до энергии Ферми плюс несколько работ выхода электронов из валентной зоны в зону проводимости, а температура плазмы при ее разогреве оптическим излучением достигает нескольких электронвольт, то приведенное выше соотношение инкрементов (5) может достичь величины порядка $2 \cdot 10^3 \div 10^4$.

Это хорошо видно из рис. 1, на котором изображена поверхность, представляющая рассчитанное отношение инкрементов в зависимости от фазовой скорости волны и отношения плотностей неравновесной и равновесной частей функции распределения электронов.

Выводы. Таким образом, предложенное отражающее покрытие ЛА с использованием радиоактивного слоя и создание неравновесного состояния в твердотельной плазме полупроводника является основой эффективного метода управления макроскопическими свойствами среды, окружающей ЛА. Этот

метод позволяет в широких пределах менять отражающие (поглощающие) свойства среды и осуществлять эффективное противодействие оптическому

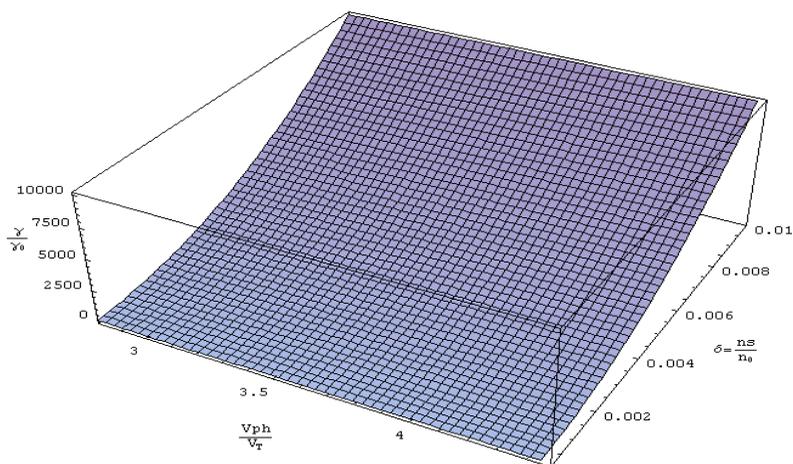


Рис. 1. Зависимость отношения инкрементов неравновесной и равновесной плазмы от фазовой скорости волны и отношения n_s/n_0 излучению, которое воздействует на поверхность ЛА, при этом коэффициент отражения может быть увеличен на несколько порядков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алёшин А.В. Лазерное оружие ВМС иностранных государств.// *Зарубежное военное обозрение*. – 1996. – № 6. – С. 50 – 55.
2. David A. Fulghum. *Lasers,HPM Weapons Near Operational Status*.// *Aviation Week*, 2002. – *Space technology/ July*. – P. 173 – 174.
3. Белимов В.В. Отражение оптического излучения с помощью покрытий, имеющих структуру металл-диэлектрик-металл // *Матеріали 63-ї науково-технічної конф. Харківської державної академії та фахівців залізничного транспорту*. – X., 2001. – С. 125 – 218.
4. Белимов В.В., Галушко Н.П., Коняхин Г.Ф., Сотников А.М. О взаимодействии лазерного излучения с веществом // *Системи обробки інформації*. – X.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вып. 6(16). – С. 165 – 170.
5. Силин В.П. *Параметрическое воздействие излучения большой мощности на плазму*. – М.: Наука, 1973. – 312 с.

Поступила 17.02.2003

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.