

УДК 539.3

Г.Ф. Коняхин<sup>1</sup>, О.И. Мельничук<sup>2</sup>, А.М. Сотников<sup>3</sup><sup>1</sup> Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков<sup>2</sup> Академия внутренних войск МВД Украины, Харьков<sup>3</sup> Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков

## НЕОБРАТИМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

Рассмотрены способы воздействия излучений на твердые тела с целью их просветления. Наиболее перспективным является способ воздействия лазерным излучением, приводящий к фазовому переходу в веществе. Показано, что используя мощные лазеры с высоким коэффициентом полезного действия и определенным режимом его работы, создаются условия для фазового перехода в твердом теле при воздействии на него лазерным излучением. При этом облужение может производиться под любым углом и на любой частоте.

**Ключевые слова:** лазерное излучение, фазовый переход, плазма, просветление.

### Введение

При воздействии лазерного излучения на конденсированные тела образуется плазма, которая препятствует дальнейшему прохождению излучения в глубь тела. Поэтому для надежного просветления твердого тела используют различные методы воздействия лазерного излучения для получения фазового перехода.

**Анализ публикаций.** В литературе описываются различные методы получения необратимых изменений и фазовых переходов в твердых телах при облучении их лазерным излучением [1]. Широко обсуждается вопрос о том, что наиболее перспективным является способ воздействия на тела лазерным излучением, приводящий к фазовым разрушениям [2], [3]. Однако этот способ обладает рядом недостатков: ограничение по мощности, то есть уровень интенсивности, выбирается из условия, зависящего от теплофизических свойств тел, и особенностью взаимодействия электромагнитного излучения лазера с веществом. В работе [4] описан способ воздействия импульсного лазерного излучения на конденсированные тела с углом облучения равным  $\varphi = \arcsin \sqrt{\varepsilon} (=f(\omega_p))$ , где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость вещества, а  $\omega_p$  – плазменная частота. Кроме того, длина волны лазерного излучения выбирается с учетом свойств самого вещества. В этом случае наибольший КПД преобразования энергии электромагнитного воздействия получается в том случае, если излучение проводится на характерных частотах, близких к резонансным частотам конденсированного тела. К недостаткам такого способа можно отнести ограниченный диапазон изменения мощности лазерного излучения, строго фиксированную частоту излучения и определенный угол падения лазерного излучения на поверхность облучаемого тела.

Целью данной статьи является разработка способа воздействия лазерного излучения на твердые тела для получения необратимого изменения и фазового перехода в теле с широким диапазоном изменения мощности лазерного излучения, частоты излучения и угла падения излучения на облучаемое тело.

### Основной материал

Нами предлагается способ воздействия лазерного излучения на твердые тела, который приводит к необратимым процессам в теле, то есть к фазовым переходам в теле. Для этого излучение лазера проводится при условиях.

$$\frac{W}{NT} > \frac{\lambda}{a} \text{ и } \frac{L}{a} < 1, \quad (1)$$

где  $W$  – плотность энергии лазерного излучения;  $N$  – плотность плазмы;  $T$  – температура плазмы;  $\lambda$  – длина волны лазерного излучения;  $a$  – ширина пучка лазерного излучения на входе в плазму;  $L$  – длина неоднородности плазмы. На рис. 1 приведена структурная схема предлагаемого способа лазерного воздействия.

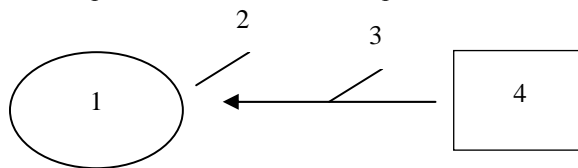


Рис. 1. Структурная схема лазерного воздействия на тело: 1 – облучаемое тело; 2 – плазма, образующаяся при воздействии лазера на тело; 3 – лазерный луч; 4 – лазер

При воздействии лазерного луча на облучаемое тело (например, металл) образуется плазма, которая начинает экранировать тело от непосредственного воздействия лазерного излучения, и просветление (фазовый переход) тела лазерным излучением становится невозможным. Оказывается, что при увеличении мощности лазерного излучения можно добиться просветления возникающего барьера непрозрачности за счет

эффекта самофокусировки лазерного луча [5].

Рассмотрим нормальное падение лазерного луча на поверхность плазмы. В этом случае электрическое поле  $E$  будет определяться уравнением

$$\Delta E + \frac{\omega^2}{c^2} [\epsilon_0(Z) + \epsilon_2 |E|^2] E = 0, \quad (2)$$

где  $\epsilon_0(Z)$  – линейная диэлектрическая проницаемость плазмы;

$Z$  – координата вдоль направления пучка;

$$E_2 = \frac{1}{16\pi \cdot N \cdot T};$$

$\epsilon_2 |E|^2$  – нелинейная добавка к диэлектрической проницаемости

$$\epsilon = \epsilon_0(Z) + \epsilon_2 |E|^2.$$

Будем искать решение для сужающегося волнового пучка в виде

$$E = R(r, z) \frac{1}{\sqrt{a(Z)}} \exp \left[ -i \frac{\omega}{c} \int_0^z a(Z) dZ \right], \quad (3)$$

$$a(Z) = \frac{ck_{||}(Z)}{\omega},$$

где  $\omega$  – частота лазерного излучения;  $c$  – скорость света;  $k_{||}$  – продольный волновой вектор;  $R(r, z)$  – расстояние, на котором фокусируется световой пучок.

Ясно, что добавление положительного слагаемого в диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  должно привести к тому, что, если линейная часть  $\epsilon_0(Z)$  отрицательная в области непрозрачности, то полная  $\epsilon$  будет положительная (хотя бы на некотором интервале  $Z$  после точки отражения). Покажем, что можно добиться не только сдвига точки отражения, но и полного просветления плазмы.

Рассмотрим линейный профиль плотности плазмы  $\epsilon_0(Z) = 1 - Z/L$ . Для сходящегося аксимально симметричного пучка комплексную амплитуду  $R$  представим в виде

$$R = \frac{R_0}{f} \exp \left[ -\frac{r^2}{a^2 f^2} - iq(z)r^2 \right], \quad (4)$$

где  $f$  – безразмерная ширина пучка;  $r$  – радиус пучка лазерного излучения;  $q(z)$  – определяет кривизну волнового фронта.

Подставляя (3) и (4) в выражении (2) в приближении ВКБ, получаем систему уравнений для  $f$  и  $x$  при  $Z/L = \xi$ :

$$\begin{cases} \delta^2 - \xi = \frac{\gamma}{\delta \cdot f^3} - \frac{4c^2}{\omega^2 \cdot a^2 \cdot f^2}; \\ f''_{\xi\xi} + \frac{x'}{x} f'_{\xi} + 2 \left( \frac{L}{a} \right)^2 \cdot \gamma \frac{1}{x^3 \cdot f^3} = \frac{4c^2}{\omega^2 \cdot a^2} \left( \frac{L}{a} \right)^2 \frac{1}{x^2 \cdot f^3}; \end{cases} \quad (5)$$

$$\gamma = \epsilon_2 |E|^2 \sim \frac{W}{N \cdot T}$$

В начале входа в плазму  $\epsilon = \epsilon_0(Z) \sim 1$  и согласно уравнению (6) ширина пучка будет меняться сла-

бо. При приближении к точке отражения  $\epsilon_0(Z) = 0$  начинают играть роль нелинейные слагаемые в (5), которые приводят к фокусировке пучка. Для того, чтобы пучок прорвался через барьер непрозрачности, необходимо выполнить следующие условия:

$$\frac{W}{NT} > \frac{\lambda}{a} \text{ и } \frac{L}{a} < 1.$$

После прорыва области непрозрачности в плазме пучок прошивает плазму вплоть до металла, который продолжает плавиться и испаряться, т.е. в этих условиях не происходит экранировка тела плазмой. Как видно из вышеуказанного, условия на угол падения излучения на тело несущественны. Пучок может падать на облучаемое тело под любым углом. Несущественным является и условие на частоту излучения. Так как плотность плазмы в переходной области от вакуума к металлу меняется в интервале от 0 до  $10^{22} \text{ см}^{-3}$ , то в этом интервале всегда будет точка, где  $\epsilon_0(z) = 0$ , т.е. можно использовать любой мощный лазер, обладающий высоким КПД (например, лазер на  $\text{CO}_2$  или МГ9 лазеры).

### Выводы

Рассмотрены способы воздействия излучений на твердые тела с целью их просветления. Наиболее перспективным является способ воздействия лазерным излучением, приводящий к фазовому переходу в веществе. Показано, что, используя определенные соотношения плотности энергии лазерного излучения, плотности плазмы, длины волны лазерного излучения и ширины лазерного пучка, можно просветлять твердые тела, несмотря на образующийся экран в виде плазмы испаряющейся твердого вещества.

### Список литературы

1. Вейко В.П. Взаимодействие лазерного излучения с веществом / В.П. Вейко, М.Н. Либerson, Г.Г. Червяков. – М.: Физматлит, 2008. – 312 с.
2. Анисимов Н.П. Действие излучения большой мощности на металлы / Н.П. Анисимов. – М.: Наука, 1970. – 196 с.
3. Афанасьев Ю.В. Высокотемпературные и плазменные явления, возникающие при взаимодействии мощного лазерного излучения с веществом / Ю.В. Афанасьев // Физика высоких плотностей энергии. – М.: Мир, 1974. – 311 с.
4. Карась В.И. О возможности резонансного воздействия лазерного излучения на твердые тела / В.И. Карась, С.С. Моисеев // Вопросы атомной науки и техники. – 1977. – Вып.1 (4). – С. 11-17.
5. Ерохин Н.С. Самофокусировка волновых пучков в нелинейной неоднородной среде / Н.С. Ерохин, С.С. Моисеев // ЖТФ. – 1978. – Т. VIII. – С. 1769-1773.

Поступила в редколлегию 9.06.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.И. Карпенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

**НЕОБОРОТНІ ЗМІНИ І ФАЗОВІ ПЕРЕХОДИ ПРИ ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ТВЕРДІ ТІЛА**

Г.Ф. Коняхін, О.І. Мельничук, О.М. Сотніков

*Розглянуті способи дії випромінювань на тверді тіла з метою їх прояснення. Найбільш перспективним є спосіб дії лазерним випромінюванням, що приводить до фазового переходу в речовині. Показано, що використовуючи могутні лазери з високим коефіцієнтом корисної дії і певним режимом його роботи, створюються умови для фазового переходу в твердому тілі при дії на нього лазерним випромінюванням. При цьому опромінювання може проводитися під будь-яким кутом і на будь-якій частоті.*

**Ключові слова:** лазерне випромінювання, фазовий перехід, плазма, прояснення.

**IRREVERSIBLE CHANGES AND TRANSITIONS OF PHASES AT AFFECTING OF LASER RADIATION SOLIDS**

G.F. Konyakhin, O.I. Melnichuk, A.M. Sotnikov

*The methods of influence of radiations are considered on solids with the purpose of their brightening. Most perspective is a method of influence a laser radiation, resulting in a phase transition in a matter. It is shown that using powerful lasers with a high output-input ratio and certain his office hours, terms are created for a phase transition in a solid at affecting him a laser radiation. Thus an irradiation can be made under any corner and on any frequency.*

**Keywords:** laser radiation, phase transition, plasma, brightening.