

## МИКРОФАКЕЛЬНЫЕ ИСКУССТВЕННЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ, СОЗДАВАЕМЫЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЗОЛИ

Г.А.Аскарьян, И.М.Раевский

Рассмотрена возможность создания искусственных диэлектриков для э.м. излучения при образовании микрофакелов на частичках в облаках зольей при воздействии лазерного излучения. Оценены изменения диэлектрической проницаемости и возможные коэффициенты отражения э.м. волн от слоев таких диэлектриков, а также рефракция и фокусировка. Указаны возможные применения.

Образование микрофакелов на неоднородностях в газе и вакууме при воздействии лазерного излучения <sup>1-3</sup> может вызвать не только рассеяние э. м. излучения, <sup>2</sup>, но и изменить эффективную диэлектрическую проницаемость, т.е. вызвать преломление, рефракцию и фокусировку э. м. волн. Этому вопросу создания и исследования микрофакельных диэлектриков и посвящена данная работа.

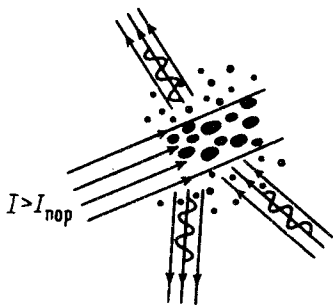


Рис. 1. Отражение и преломление радиоволн на микрофакельном диэлектрике

1. Предположим (рис. 1), что на облако частиц (золи, гидрозоли и т.п.) падает излучение лазера с плотностью потока  $I > I_{\text{пор}}$ , где  $I_{\text{пор}}$  – порог обрзгования микрофакела на каждой частице. Образующееся облачко плазмы будет имет , поляризуемость

$$\alpha \cong \frac{\omega_r^2}{\omega_r^2 - \omega^2 + i\nu\omega} \quad a^3 \sim a^3 \quad \text{при } \omega_r > \nu \text{ и } \omega_r > \omega,$$

где  $\omega_r$  – плазменная резонансная частота облачка ( $\omega_r \sim \omega_p / \sqrt{3}$ ) для квазисферического облака и  $a$  – размер облака плазмы, который может во много раз превосходить начальные размеры частицы  $a_0$ . Для вытянутых плазменных облачков радиуса  $a$  и длины  $l$  и для

радиоизлучения с поляризацией поперек оси облачков (это обычно имеет место, когда радиоизлучение идет со стороны лазерного луча, так как микрофакелы часто вытянуты навстречу лазерному лучу) поляризуемость

$$\alpha \cong \frac{1}{2} \frac{\omega_r^2 l a^2}{\omega_r^2 - \omega^2 + i\nu\omega} \cong \frac{1}{2} a^2 l \quad \text{при } \omega_r \gg \nu$$

или  $\omega_r \gg \omega$ , где  $\omega_r \cong \omega_p / \sqrt{2}$ . Для плотных облачков, вытянутых вдоль вектора электрического поля радиоволны поляризуемость резко возрастает  $d \sim l^3 / 2 \ln(l/a)$  для  $l \gg a$ . Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 1 + 4\pi d N$  может существенно измениться от начальной  $\epsilon = 1 + 4\pi \alpha_0 N$  на величину  $\Delta \epsilon \cong 4\pi \Delta d N$ , где  $d$  зависит от плотности потока  $I$ , длительности импульса  $t$  и поглощения света. Это обстоятельство позволяет подбором распределения интенсивности воздействия изменять в пространстве распределение диэлектрической проницаемости.

2. Был поставлен эксперимент по определению условий образования и проявления микрофакельного искусственного диэлектрика.

Моноимпульсный (длительностью 30 нс) неодимовый лазер создавал луч с плотностью потока  $I \lesssim 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, действующий на облако золь (порошки В<sub>4</sub>С с размерами частиц  $a_0 \cong 10$  мкм, микрокапельки воды и т.п.). Концентрация частиц  $N \cong 10^3$  см<sup>-3</sup> и плотность потока  $I$  выбирались так, чтобы микрофакелы не сливались, образуя мелкодисперсную плазменную структуру (см. рис. 2а) с размерами светящихся облачков 10<sup>2</sup> мкм. По порядку величины размеры факелов определялись путем светодетонационной волны  $l \sim v_D t \sim (I/\rho_0)^{1/3} t \sim 0,1 \div 3$  мм. Это давало  $\Delta \epsilon \cong 10^2 \div 0,3$ , т. е. достаточно большие скачки диэлектрической проницаемости.

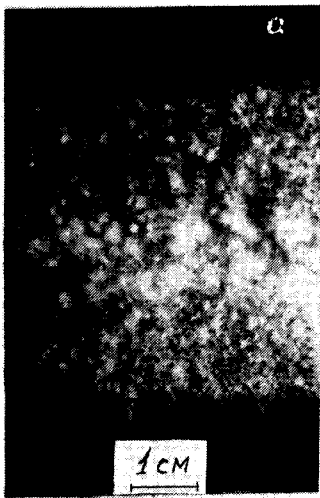


Рис. 2, а

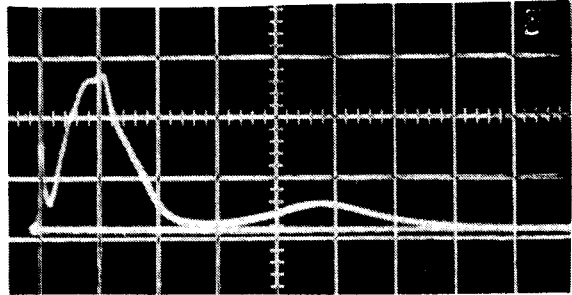


Рис. 2, б

Рис. 2, а. Фотография микрофакельного диэлектрика, образованного воздействием импульса лазерного излучения на частицы В<sub>4</sub>С

Рис. 2, б. Отражение радиоволн  $\lambda = 0,8$  см от микрофакельного диэлектрика. Сигнал с детектора. Развертка 50 мкс/дел

При лазерном воздействии на частицы в вакууме размеры разлетающихся плазменных облачков  $a \cong v t$ , где большая скорость разлета  $v \cong k T_0 (Z + 1) / 2m_i$ ,  $T_0$  – начальная температура нагрева,  $Z$  – зарядовое число,  $m_i$  – масса ионов плазмы, поэтому  $\epsilon = 1 + 4\pi(vt)^3 N$  и  $\dot{\epsilon} \sim t^2$ .

Отметим, что микрофакельный диэлектрик, состоящий из множества плазменных облачков при большой плотности плазмы имеет усредненное  $\epsilon > 1$  в отличие от равномерно заполнения такой плазмой, для которой  $\epsilon < 0$ .

Исследовалось взаимодействие радиоволн со слоем такого искусственного диэлектрика. Радиоизлучение с  $\lambda \cong 0,8$  см от генератора ГЗ-30 падало на слой таких золей и при воздействии лазера определялось отражение радиоволн и перекрытие. На рис. 2, б дана осциллограмма сигнала отражения, которая показывает большую отражательную способность. Максимальное отражение было зарегистрировано под углом зеркального отражения, что показывает, что образуется слой микрофакельного искусственного диэлектрика (условие однородности  $N\lambda^3 \gg 1$  выполнено).

Изменение показателя преломления  $\Delta n \cong \Delta \epsilon / 2$  (при  $\epsilon - 1 < 1$ ) дают оценки коэффициента отражения

$$R \cong \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2 \sim \frac{1}{4} (\Delta n)^2 \sim \frac{1}{16} (\Delta \epsilon)^2 \sim 0,1,$$

что дает  $\Delta \epsilon \sim 1$ , т.е. достаточно высокие изменения показателя преломления.

3. Образованный на облаке золей толщиной  $L$  слой искусственного диэлектрика с распределением  $n(r) \cong n(0) - Ar^2$

$$n \cong 1 + 2\pi d(r)N \cong n(0) + 2\pi \{ d(r) - d(0) \} N(r)$$

вызовет фокусировку на угол  $\theta \cong \frac{\partial n}{\partial r} L \cong 2ArL$ , т.е. сфокусирует волну на расстоянии  $F \sim r/\theta \sim 1/2AL$ . Фокусирующие свойства линзы можно менять, подбирая распределение лазерного воздействия  $I(r)$  (например, в случае  $a \cong a^3 \sim IT\pi a^2 \sim q_1 \pi a^2$  изменение плотности энергии  $q(r)$  приведет к сильному изменению  $d(r) \sim q^3(r)$  для  $a \gg a_0$  и  $a \sim q$  для  $a_{\text{погл}} \sim a_0$ ). Длины поглощения лазерного излучения  $L \sim 1/\pi a^2 N$  могут быть сделаны достаточно большими при укорочении лазерных импульсов (если основная стадия расширения плазменных облачков происходит после окончания лазерного импульса).

Искусственные диэлектрики могут быть использованы<sup>4,5</sup> для улучшения дальнего приема, для передачи лучевой энергии от космических станций, для лабораторных экспериментов и устройств по созданию и использованию сред с искусственно меняемыми во времени параметрами, как для радио, так и для световых волн.

4. Рассмотренные искусственные диэлектрики обладают рядом свойств, представляющих физический и практический интерес.

Они позволяют использовать и исследовать электродинамические системы с диэлектрической проницаемостью, быстро меняющейся со временем  $\epsilon(t) = 1 + 4\pi d(t)N$ . В такой системе<sup>6</sup> должны наблюдаться сильные изменения частоты и амплитуды волны, (особенно в случае резонатора), при движении фронта образования  $\epsilon$ , модуляция прохождения и отражения (особенно при изменении числа волн, укладывающихся в слое). В таких системах можно наблюдать излучение от неподвижного или движущегося равномерно заряда, а также от постоянных электрических полей при изменении  $\epsilon$  участка среды.

Возможно и изменение мнимой части  $\epsilon(t)$ , в частности, из-за изменения во времени частот столкновений электронов и их концентрации. Могут появиться новые типы поглощения, связанные с работой поля над частицами с переменной поляризуемостью<sup>7</sup>. Например, для работы поля над системой проводящих шариков переменного радиуса

$$\dot{A} = \frac{E_0^2}{4\pi} N \dot{V}_1 = \frac{\partial I_{\text{radio}}}{\partial z}$$

дает глубину такого поглощения  $L_a = c/N \dot{V}_1 = 3c/\dot{\epsilon}$ , которое может стать заметным при больших скоростях расширения объемов  $\dot{V}_1$  каждой частички искусственного диэлектрика.

## Литература

1. *Lencioni D.E., Pettingill L.C. J. Appl. Phys., 1977, 48, 1848.*
2. *Аскарьян Г.А., Манзон Б.М., Раевский И.М. Письма в ЖТФ, 1978, 4, 1466.*
3. *Аскарьян Г.А., Гарасова Н.М. Письма в ЖТФ, 1980, 6, 656.*
4. *Аскарьян Г.А., Раевский И.М. Письма в ЖТФ, 1982, 8, №17.*
5. *Аскарьян Г.А., Григорьев В.А., Денискин Ю.Д., Шйшов В.В. Письма в ЖТФ, 1982, 8, 23.*
6. *Болотовский Б.М., Давыдов В.А., Рок В.Е. УФН, 1978, 126, 311; 1982, 136, 501.*
7. *Аскарьян Г.А. Письма в ЖЭТФ, 1969, 9, 404.*

Физический институт им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
14 июля 1982 г.