

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЛЯТИВИСТСКИХ СКОРОСТЕЙ ФРОНТА МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК ПРИ ИСПАРЕНИИ ПЛЕНКИ МОЩНЫМ СВЕТОМ

Г.А.Аскаръян, Б.М.Манзон

Указана возможность осуществления релятивистских (и даже сверхсветовых) скоростей фронта испарения пленки металла при поперечном воздействии мощным светом. Описаны предварительные эксперименты по получению больших скоростей. Получены скорости фронта металла больше $4 \cdot 10^9$ см/сек. Указаны возможности использования таких движущихся фронтов для доплеровского преобразования частот, сверхсветовых излучений и ускорений частиц.

Лучевое испарение металлизированной пленки широко используется в настоящее время для модуляции добротности [1,2], для укорочения фронтов импульсов [2], для создания импульсных окон для СВЧ [3] и т.п. В данной работе отмечается возможность осуществления релятивистских (и даже сверхсветовых) скоростей фронта испарения пленки при поперечном воздействии мощным светом, описываются предварительные эксперименты по достижению больших скоростей и указываются возможности использования таких фронтов для доплеровских преобразований, сверхсветовых излучений и ускорений частиц.

1. Предположим, что на тонкую металлическую пленку (например, слой металлизации толщиной в сотни ангстрем на полимерной пленке) действует мощный световой импульс, падающий по нормали к пленке. При заданной плотности потока $I(z, t)$ (z — координата вдоль пленки) получим момент времени испарения пленки t из условия

$$\int_{t_0}^t \alpha I(z, t) dt \approx \Lambda \rho_0 h,$$

где α — коэффициент поглощения, Λ — удельное тепло, необходимое для испарения, ρ_0 — плотность и h — толщина пленки, t_0 — момент времени начала испарения. Отсюда получим $z_{\Phi}(t)$ — координату фронта перехода металл — диэлектрик. Например, если I после включения не зависит от времени, то $t \approx \Lambda \rho_0 h / \alpha_{\Phi} I(z)$ и при за-

дании $I = I_0 - \frac{\partial I_0}{\partial z} z$ получим $\dot{z}_{\Phi} \approx \frac{1}{I'_z} \frac{B}{t^2}$. Если $I = I_0 \left(\frac{z_0}{z + z_0} \right)^k$ получим

$$z = z_0 \left\{ (I_0 / B)^{1/k} t^{1/k} - 1 \right\}$$

и

$$\dot{z} = \frac{1}{k} z_0 (I_0 / B)^{1/k} t^{1/k - 1}.$$

Например, при $k = 1$; $\dot{z}_{\phi} = \text{const}$, при $k = 1/2$; $\ddot{z}_{\phi} = \text{const}$ и т.п. При этом волна фронта всегда движется в сторону уменьшения интенсивности.

Второй возможный способ реализации быстрого движения фронта — испарение пленки под действием наклонно падающего светового импульса. В случае малого разброса величины интенсивности и толщины пленки запаздывание определит движение фронта $\dot{z}_{\phi} = c' / \sin \theta$, где θ — угол падения фронта света ($\dot{z}_{\phi} > c'$).

Возможно создание движений фронта при перемещении или сканировании мощного луча по поверхности пленки.

В рассмотренных случаях достижима реализация любых, даже сверхсветовых скоростей движения фронта, причем точное выдерживание скорости зависит от точности задания толщины и свойств пленки и интенсивности света.

Отметим, что время перехода металл — диэлектрик гораздо меньше времени нагрева, так как сам переход совершается резко уже после достижения температур сильного испарения (типа взрывного разлета из метастабильного перегретого состояния).

Отметим также, что обычные скорости фронта испарения металла вдоль луча лазера обычно лежат в диапазоне $10^4 + 10^5$ см/сек ($\sim \rho_{\text{кр}} V_{\text{истеч}} / \rho_0$, где $\rho_{\text{кр}}$ — критическая плотность паров, ρ_0 — начальная плотность металла, $V_{\text{истеч}}$ — скорость истечения паров), т.е. поперечные скорости фронта на много превосходят эти скорости.

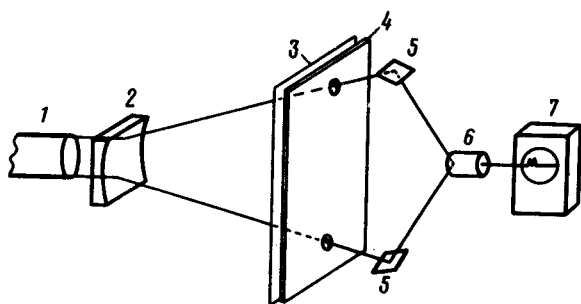


Рис.1. Схема лазерной установки: 1 — лазер, 2 — отрицательная цилиндрическая линза, 3 — металлизированная лавсановая пленка, 4 — экран с двумя отверстиями, 5 — зеркала, 6 — ФЭК, 7 — осциллограф

2. Был поставлен эксперимент по демонстрации достижения больших скоростей фронта испарения пленки. Схема опыта дана на рис.1. Луч лазера (1) расширялся цилиндрической линзой (2) с фокусным расстоянием $F = 5$ см. Обычный луч давал на расстоянии 3,5 м полосу света длиной 3,5 м и шириной 5 см. Ширина полосы могла быть уменьшена подфокусировкой обычной линзой с $F = 3$ м до 1 — 2 мм или цилиндрическими линзами, помещаемыми у пленки (3), на которую действовал луч.

Лазер работал в режим волны генерации [4], распространяющейся по торцу стержня в направлении хорды кривой поверхности цилиндрической линзы. Инициирование волны производилось локальным просветлением пленки в резонаторе лазера с помощью искрового разрядника — микропробой вызывал локальный прожиг металлизации, открывающий резонатор. От этого места шла волна генерации от края по торцу ак-

тивного элемента за счет расширения луча, выгрызающего пленку в резонаторе со скоростью $3 \cdot 10^7$ см/сек. Линза (2) трансформировала эту скорость, увеличивая ее в сотни раз. Луч, пробегая по пленке (3) прожигал ее, так как плотность мощности его была высока. При прожигании луч попадал в отверстие пластины (4) и направлялся зеркалами (5) на фотоприемник ФЭК-04 (6). На рис.2 даны осциллограммы импульсов. По запаздыванию одного импульса от другого определялась скорость фронта испарения. Уже при базе – расстоянии до пленки 3,5 м эта скорость превысила $4 \cdot 10^9$ см/сек, что продемонстрировало возможность достижения очень больших скоростей фронтов металл-диэлектрик.

На пленке выжигалась полоска шириной $2 + 3$ мм. При длине хода луча 3,5 м и энергии импульса лазера ~ 100 дж можно определить необходимую для испарения пленки плотность энергии порядка долей дж/см²,

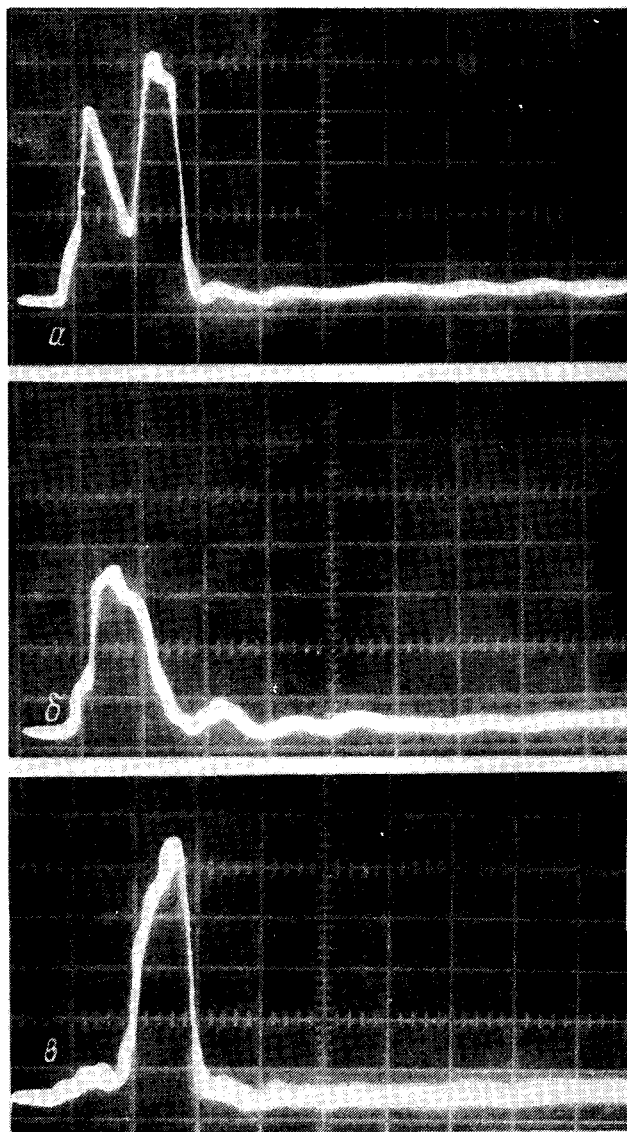


Рис.2. Осциллограмма импульсов с ФЭК'а: а – открыты оба отверстия в экране; б – закрыто первое отверстие; в – закрыто второе отверстие. Развертка 100 нсек/дел

в согласии с [1 - 3] и проведенными нами исследованиями по использованию таких натянутых пленок в качестве исчезающих зеркал для импульсного отражения и укорочения длительности мощных световых импульсов и в качестве исчезающих зеркал оптических резонаторов, выпускающих мощный импульс и срывающих дальнейшую генерацию.

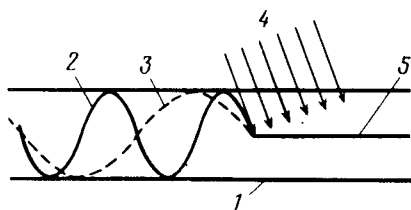


Рис.3. Схема получения доплеровского сдвига частоты при отражении от исчезающей металлической пленки: 1 - волновод, 2 - падающая волна; 3 - отраженная волна измененной частоты; 4 - лазерное излучение, испаряющее пленку; 5 - металлическая пленка, запирающая волновод

3. Быстро движущиеся фронты металлической поверхности могут быть использованы для наблюдения доплеровских сдвигов и уширений частот световых и радиоволн, например, в случае, изображенном на рис.3: допустим, что металлическая пленка (5) находится в волноводе (1) преграждая распространение по нему волны (2). Тогда исчезание пленки под действием лазерного луча (4) вызовет доплеровское

изменение частоты $\omega' = \frac{1 - \beta'}{1 + \beta'} \omega_0$; ($\beta' = u/c'$) у отраженной волны (3).

При этом сильное отражение от пленки может быть обеспечено не только подбором ориентации пленки вдоль электрического поля волны, но и расположением пленки в определенных местах волновода, вызывающим его запираение.

Возможно также наблюдение черенковских эффектов от поляризации или токов в пленке при сверхсветовых скоростях фронта испарения.

Большие скорости движения краевых полей в пленке из-за ее поляризации при подключении к электрическому потенциалу или нагрева плазмы могут быть использованы и для ускорения частиц.

Рассмотренное явление высокоскоростных фронтов испарения металла вызывает большой интерес не только возможностью наблюдения релятивистских явлений, но и большими коэффициентами перепада свойств на фронте, вызывающими гораздо более сильные отражения и возмущения полей, чем другие возможные нелинейные объекты (движущиеся лучи и фокусы в нелинейных средах [5]).

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

Поступила в редакцию
22 января 1980 г.

Литература

[1] Б.Р. Белостоцкий, Ю.В.Любавский, В.М.Овчинников. Основы лазерной техники, 1972.

- [2] М.П.Ванюков, В.И.Исаенко, П.П.Пашинин, В.А.Серебряков, В.Н.Сизов, А.Д.Стариков. Квантовая электроника. №1, стр.35, 1971.
- [3] Г.А.Аскарьян, Н.М.Тарасова. Письма в ЖЭТФ, 18, 8, 1973.
- [4] Г.А. Аскарьян, Б.М.Манзон. Письма в ЖЭТФ, 27, 113, 1978.
- [5] Г.А. Аскарьян. УФН, 111, 249, 1973.
-