

С.В. Мельченко, М.И. Ломаев, А.Н. Панченко, В.Ф. Тарасенко

ЭФФЕКТ СВЕТОВОДА В ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЕ,
ОБРАЗОВАННОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

Исследовалось взаимодействие мощного лазерного излучения с поверхностью металлов и диэлектриков при различных углах падения α . Обнаружено, что при $\alpha > 70^\circ$ и образовании плазмы вдоль облучаемой поверхности распространяется часть излучения. Описываются условия появления эффекта, дается его интерпретация.

В целях лазерного зондирования атмосферы применяются источники излучения с различными длинами волн, в том числе с использованием известных нелинейных эффектов, проявляющихся при взаимодействии мощного лазерного пучка с веществом, таких как: ВКР света в газах и плазме, генерация гармоник и т.д. [1–3]. В настоящей работе описан эффект плазменного световода, который, по-видимому, наблюдался впервые.

В экспериментах использовался ХеСI-лазер ($\lambda \sim 308$ нм) с расходимостью выходного пучка $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ рад [4, 5]. Излучение фокусировалось кварцевой линзой с $F = 50$ см под различными углами на плоские подложки из меди, алюминия, нержавеющей стали, фторопласта-4, лавсана, кварца. Специальная обработка поверхности подложек не проводилась. Длительность лазерного импульса на полувывсоте составляла 40 нс. Регистрация энергетических характеристик осуществлялась ИМО-2Н, временных — ФЭК-22 и С8-12, спектральных — ИСП-30. Кроме того, велось визуальное наблюдение на экране, расположенном на расстоянии ~ 1 м от фокуса линзы и на облучаемой поверхности.

Было обнаружено, что при определенных условиях, кроме отраженного 1 и прошедшего 2 лучей (рис. 1) возникает дополнительный луч 3, распространяющийся вдоль облучаемой поверхности, названный условно «стелющимся» лучом.

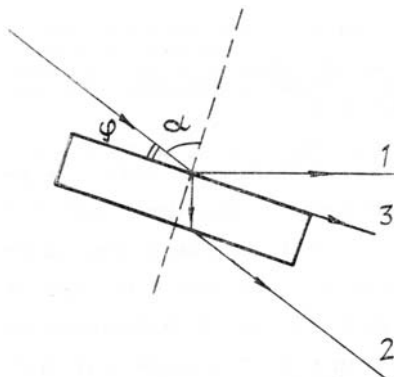


Рис. 1. Распространение света после взаимодействия мощного лазерного пучка с поверхностью кварца: 1 — отраженный, 2 — прошедший, 3 — «стелющийся» лучи

«Стелющееся» излучение, как правило, возникало, если на поверхности пластинки образовывался ярко светящийся плазменный шнур. Интенсивность луча 3 сильно зависела от угла φ между осью сфокусированного падающего пучка и поверхностью (рис. 2,а). Так, если угол φ составлял величину $\leq 8^\circ$, энергия «стелющегося» пучка могла составлять несколько процентов от энергии падающего излучения. Увеличение угла φ приводило к исчезновению эффекта. Отметим, что приведенная на рис. 2,а зависимость практически совпадает с угловой зависимостью пропускания световода ГЖКВ, использованного в экспериментах [6]. Это свидетельствует о возникновении световодного эффекта.

Регистрация временных характеристик излучения показала, что «стелющийся» луч возникает с запаздыванием относительно начала облучения поверхности на 5–10 нс (в зависимости от материала и мощности падающего пучка). После появления этот импульс повторяет импульс падающего излучения. Заметим, что тенденции изменения задержки появления «стелющегося» излучения при переходе от одного материала к другому коррелировали с изменением задержки плазмообразования на поверхности для пучка, падающего перпендикулярно к подложке. Так, на медной подложке плазма образовывалась позже, чем на алюминиевой ($\tau_3 \sim 7,5$ нс и 5 нс соответственно), что можно объяснить высокой теплопроводностью меди, а также наличием резонансного перехода у атомов Al для длины волны ХеСI-лазера. Плазма на поверхности диэлектриков возникала значительно позже, чем на поверхности металлов. Все эти тенденции проявлялись и для «стелющегося» луча.

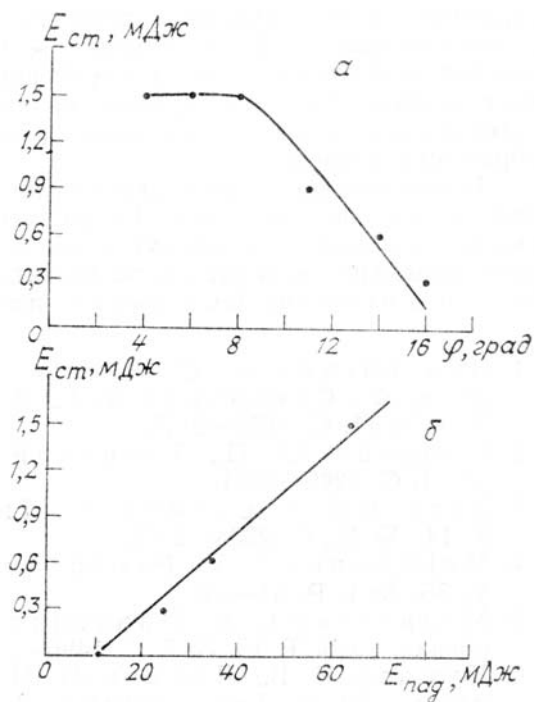


Рис. 2. Зависимость энергии «стелющегося» излучения от угла наклона φ оси падающего пучка с $E = 65$ мДж к облучаемой поверхности (а) и энергии падающего излучения при угле наклона $\sim 6^\circ$ (б)

Обычно пороговая энергия падающего пучка, при которой проявлялся эффект., определялась визуально и составляла 10–20 мДж. Более точно порог был измерен для зеркала с Al-покрытием, на котором «стелющийся» луч возникал наиболее легко. Регистрация осуществлялась с помощью фотодиода ФЭК–22. Оказалось, что, если энергия падающего лазерного излучения становится ниже 5 мДж, то амплитуда исследуемого импульса уменьшается на порядок. При этом исчезает задержка относительно начала облучения поверхности. Следовательно, фотодиод регистрирует только рассеянный фон. Порог образования свечения плазменного шнура на этой поверхности был приблизительно таким же. При увеличении энергии падающего луча энергия «стелющегося» пучка росла примерно линейно (рис. 2,б).

Длина волны «стелющегося» излучения совпадала с длиной волны падающего излучения. Расходимость этого пучка в направлении, перпендикулярном поверхности, была значительно ниже расходимости, определяемой геометрией фокусировки падающего пучка.

Приведенные данные позволяют интерпретировать эффект следующим образом., При взаимодействии мощного лазерного излучения с поверхностью возникает плазменное облако с градиентом плотности и, следовательно, показателя преломления в направлении, перпендикулярном поверхности. Так как скорость распространения светящейся границы плазмы составляет $\sim 10^3 - 10^4$ м/с [7], то за время запаздывания образования «стелющегося» луча (~ 10 нс) слой плазмы достигает толщины, по крайней мере, десятки микрон. Излучение, падающее под малым углом к поверхности, и, следовательно, к границе плазмы, может распространяться в плазменном шнуре, как в своеобразном световоде.

Вследствие малой расходимости такого пучка плотность мощности излучения может быть достаточно высокой (10^8 Вт/см²) на длине 10–20 см, которая значительно превышает конфокальный параметр 50–см линзы. Использование этого обстоятельства дает возможность, в частности, снизить порог и увеличить эффективность ВКР-преобразования излучения ХеСl-лазера в сжатом водороде.

1. Верховский В.С., Климкин В.М., Прокопьев В.Е., Тарасенко В.Ф., Соковиков В.Г., Федоров А.И. // Квантовая электроника. 1982. Т. 9. № 11. С. 2151–2155.
2. Полунин Ю.П., Троицкий В.О. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. № 11. С. 2249–2251.
3. Зозуля А.А., Силин В.П., Тихончук В.Т. // Квантовая электроника. 1987. Т. 14. № 11. С. 2304–2311.
4. Mel'chenko S.V., Panchenko A.N., Tarasenko V.F. // Opt. Com. 1985. V. 56. № 1. P. 51–52.
5. Мельченко С.В., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Квантовая электроника. 1986. Т. 13. № 7. С. 1496–1500.
6. Кумпяк Е.В., Ломаев М.И., Месяц Г.А., Панченко А.Н., Поталицын Ю.Ф., Тарасенко В.Ф. // ПТЭ. 1987. № 2. С. 171–173.
7. Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. // Физика плазмы. 1987. Т. 13. Вып. 4. С. 497–498.

S.V. Mel'chenko, M.I. Lomaev, A.N. Panchenko, V.F. Tarasenko. **Waveguide Effect in Laser-Induced Surface Plasma.**

The interaction of a high-power laser beam with metal and dielectric surfaces at different angles of incidence was studied. Under certain conditions to be described in the paper a portion of the laser beam was found to propagate along the irradiated surface. The waveguide effect is shown to be due to an optically inhomogeneous medium with a variable refractive index.