

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ПЛОСКОСТИ МИШЕНИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ И РАССЕЯННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.В.Ефремов, Л.Я.Минько, А.Н.Чумаков

*Институт молекулярной и атомной физики Национальной академии наук Беларуси
проспект Ф.Скорины 70, 220072 Минск, Беларусь*

Аннотация. Показано, что плотность мощности видимого излучения лазерной плазмы на мишени достигает 2×10^{-5} % (рассеянного лазерного до 2×10^{-3} %) от плотности мощности воздействующего лазерного излучения и монотонно уменьшается с удалением ζ от пятна облучения пропорционально ζ^{-4} .

1. ВВЕДЕНИЕ

При лазерном воздействии на материалы значительная часть энергии лазерного излучения (ЛИ) переизлучается плазмой. Поэтому знание пространственно-временного распределения интенсивности излучения приповерхностных лазерных плазменных образований необходимо для многих практических задач лазерной обработки материалов и контроля лазерных технологических процессов. Исследования излучательных характеристик лазерной плазмы в видимой и ИК областях спектра выявили квазилинейную зависимость энергетической силы излучения лазерных приповерхностных плазменных образований от плотности мощности ЛИ и вытянутость индикатрис излучения плазмы в направлении от мишени (Чумаков и др., 1994). В настоящей работе измерены потоки излучения лазерной плазмы и рассеянного ЛИ на мишень, а также выяснено их распределение в плоскости мишени.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Приповерхностная лазерная плазма получалась при воздействии на мишень из алюминия излучения YAG:Nd³⁺-лазера (Ефремов и др., 1992) в трех режимах работы: а) на основной гармонике $\lambda=1,064$ мкм в моноимпульсном режиме ($\tau=20$ нс); б) на основной гармонике $\lambda=1,064$ мкм в режиме свободной генерации ($\tau=80$ мкс); в) на второй гармонике $\lambda=0,532$ мкм в моноимпульсном режиме ($\tau=14$ нс). Лазерное излучение фокусировалось плоско-выпуклой линзой ($f=115$ мм) в пятна диаметром $d=0,7$ мм {режимы а) и б)} и $d=0,35$ мм {режим в)}. При необходимости ЛИ ослаблялось калиброванными светофильтрами из цветных стекол.

Распределение интенсивности видимого и ИК излучения приповерхностной лазерной плазмы в плоскости мишени измерялось с помощью световодной головки с моноволоконном (световой диаметр 0,8 мм), один торец которого устанавливался в области измерений, а второй состыковывался с фотоприемником на основе ФЭУ-112. Регистрация световых потоков осуществлялась как в узких (3-5 нм), так и в

относительно широких (~100 нм) спектральных интервалах, выделяемых интерференционными фильтрами. Были предприняты меры по предотвращению попадания на приемную площадку световодной головки рассеянного и отраженного от конструктивных элементов излучения плазмы и лазера: установлены поглощающие экраны и ловушки для ЛИ, задиафрагмирована фокусирующая линза до размеров лазерного пучка (~ 8 мм) и т.д.

Экспериментальные распределения интенсивности излучения приповерхностной лазерной плазмы на длине волны 0,695 мкм в спектральном интервале $\Delta\lambda=3.6$ нм, полученные при воздействии в режиме а) для двух плотностей мощности ЛИ: 1,1 и 0,12 ГВт/см², представлены на рис. 1. Приемная площадка световодной головки располагалась и перемещалась в плоскости мишени.

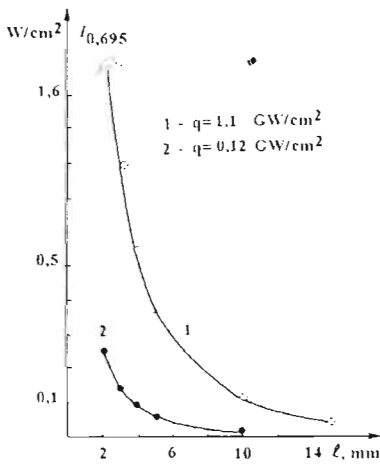


Рис. 1

Эксперименты показали, что несмотря на принятые меры по ослаблению света, отраженного от конструктивных элементов, полностью устранить влияние фокусирующей линзы не удалось. Так, например, перемещение по направлению к мишени диафрагмирующей линзы шторки приводило к изменению сигнала с фотоприемника для определенных местоположений приемной площадки относительно пятна облучения. Анализ показывает, что это связано с сильным отличием углов падения на приемную площадку двух частей светового потока, одна из которых формируется за счет излучения, распространяющегося непосредственно от факела, а другая -

при отражении излучения факела на фокусирующей линзе. Действительно, отраженный поток с небольшой энергией, падающий почти перпендикулярно на фиксированную площадку поверхности, может в некоторых случаях внести больший вклад в плотность мощности излучения на этой площадке, чем скользящий световой поток с большой энергией. Таким образом, получаемые при таких измерениях результаты в определенной степени зависят от расположения фокусирующих и других конструктивных элементов, особенно при небольших размерах факела.

В режиме б) измерения проводились при $q=0.63$ МВт/см². Приемная площадка устанавливалась в плоскости мишени. Так как размер факела вдоль оси лазерного пучка относительно велик (~ 5 мм), то угол падения светового потока на приемную площадку не превышал 60°, и вклад отраженного излучения был незначительным. Характер полученного распределения интенсивности свечения в плоскости мишени на длине волны 0,695 мкм подобен приведенному на рис. 1 и отличается лишь значениями измеренных величин.

Аналогичные измерения были проведены и в режиме в) при плотности мощности воздействующего ЛИ $1,1 \text{ ГВт/см}^2$. Измерения проводились на длине волны $0,634 \text{ нм}$ в спектральном интервале $\Delta\lambda=5,4 \text{ нм}$. С целью получения объективных данных о распределении и максимальных значениях световых потоков на различных расстояниях от факела были проведены измерения также и при установке приемной площадки световодной головки перпендикулярно поверхности мишени. Измеренные распределения при двух положениях световодной головки с учетом диаграммы направленности ее чувствительности дают полную информацию о распространении излучения факела вдоль поверхности мишени. На рис. 2 представлены результаты таких измерений, полученные при параллельном (I_{\parallel}) и перпендикулярном (I_{\perp}) плоскости мишени расположении приемной площадки световодной головки.

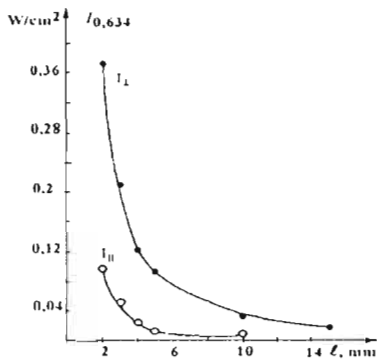


Рис. 2

Проведенные измерения показывают, что значения световых потоков на поверхности мишени в исследуемых участках спектра достигают ($L=2 \text{ мм}$) $0,5; 0,001$ и $0,1 \text{ Вт/см}^2$ соответственно в режимах а), б) и в), изменяясь с расстоянием от пятна облучения пропорционально L^{-4} . Поэтому зона эффективного светового облучения находится в пределах $L=5-6 \text{ мм}$ от пятна облучения (где плотность мощности светового облучения поверхности уменьшается в 10 раз). При перпендикулярном расположении приемной площадки регистрируемые максимальные значения интенсивности

излучения изменяются с расстоянием пропорционально L^{-2} , достигая $1,1 \text{ Вт/см}^2$ и $0,4 \text{ Вт/см}^2$ при $L=2 \text{ мм}$ в режимах а) и в) соответственно.

Таким образом поток излучения лазерной плазмы (полученной в режиме модуляции добротности ЛИ с $q \sim 1 \text{ ГВт/см}^2$) на мишень монотонно уменьшается с удалением от пятна облучения и при $L=2 \text{ мм}$ в спектральном интервале $\sim 5 \text{ нм}$ составляет $\sim 1 \text{ Вт/см}^2$. Оценка потока в спектральной полосе шириной 1000 нм дает величину $\sim 200 \text{ Вт/см}^2$, что составляет $2 \times 10^{-5} \%$ от плотности мощности воздействующего ЛИ. Образующаяся при воздействии в режиме свободной генерации ($q \sim 1 \text{ МВт/см}^2$) лазерная плазма в том же спектральном интервале излучает поток в 1 мВт/см^2 при $L=2 \text{ мм}$, что в пересчете на спектральную полосу шириной 1000 нм дает $\sim 0,2 \text{ Вт/см}^2$ или также $2 \times 10^{-5} \%$ от плотности мощности падающего ЛИ.

Измерения интенсивности рассеянного ЛИ проводились в режимах и по схеме, описанных выше. Распределение интенсивности рассеянного ЛИ на длине волны $0,532 \text{ мкм}$, полученные в режиме в) при параллельном (I_{\parallel}) и перпендикулярном (I_{\perp}) плоскости мишени расположении приемной площадки световодной головки, представлены на рис.3. Аналогичные распределения интенсивности рассеянного ЛИ на длине волны $1,064 \text{ мкм}$ получены при воздействии в режиме а) для двух

плотностей мощности воздействующего ЛИ: 1,1 и 0,12 ГВт/см² и двух ориентаций световодной головки, а также в режиме б).

Проведенные исследования показали, что интенсивность рассеянного ЛИ на поверхности мишени достигает ($\xi=2$ мм) 300; 15 и 60 Вт/см², соответственно в режимах а), б) и в). Как и в случае с излучением плазмы, значения интенсивности рассеянного ЛИ убывают пропорционально ξ^{-4} , где ξ —расстояние до пятна облучения. Отличия от этого закона, наблюдаемые в режиме в), по-видимому, связаны с влиянием огражденного от фокусирующей линзы ЛИ и особенностями диаграммы направленности чувствительности световодной головки. При перпендикулярном расположении приемной площадки регистрируемые максимальные значения интенсивности

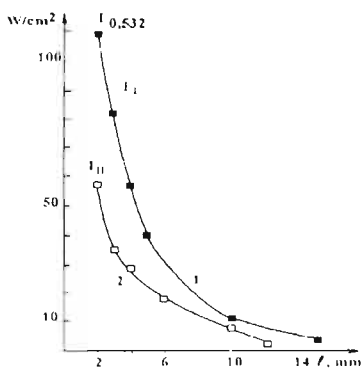


Рис. 3

рассеянного ЛИ изменяются пропорционально ξ^{-2} , достигая 950 и 110 Вт/см² при $\xi=2$ мм в режимах а) и в) соответственно (рис. 3, 1).

Таким образом, поток рассеянного ЛИ на мишень при плазмообразовании в режиме модуляции добротности с $E \sim 100$ мДж { $q \sim 1$ ГВт/см² - режим а)} при $\xi=2$ мм составляет ~ 1000 Вт/см², а при $E \sim 10$ мДж ($q \sim 0,1$ ГВт/см² - режим а) и $q \sim 1$ ГВт/см² - режим в)} - 100 Вт/см². В данных условиях интенсивность рассеянного ЛИ для $\lambda=1,064$ мкм составила 1×10^{-4} %, а для $\lambda=0,532$ мкм - 1×10^{-5} % от плотности мощности воздействующего ЛИ. Однако в отличие от интенсивности излучения приповерхностной плазмы, которая пропорциональна плотности мощности воздействующего ЛИ, интенсивность рассеянного ЛИ изменяется пропорционально энергии падающего ЛИ. При плазмообразовании в режиме свободной генерации ($E \sim 200$ мДж, $q \sim 1$ МВт/см²) интенсивность рассеянного ЛИ составляет ~ 10 Вт/см² при $\xi=2$ мм или 1×10^{-3} % от плотности мощности падающего ЛИ, что на порядок больше, чем при воздействии в режиме модуляции добротности, и связано, по-видимому, с дополнительным рассеянием на образующихся в этих условиях частицах конденсированной фазы.

Литература

Ефремов В.В., Тылец Н.А., Чумаков А.Н., Шиенок Ю.Ф.: 1992, Приборы и техника эксперимента, N 4, 179-183.
 Чумаков А.Н., Ефремов В.В., Босак Н.А., Минько Л.Я., Чивель Ю.А., Авраменко В.Б.: 1994, Квантовая электроника, 21, 773 - 777.