

ФОРМИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕННОГО ИНТЕНСИВНОГО ВУФ ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

*В.Л.Арцимович*¹⁾, *С.В.Гапонов*²⁾, *Ю.С.Касьянов*¹⁾, *Б.М.Лускин*²⁾,
*Н.Н.Салащенко*²⁾, *И.И.Собельман*³⁾, *А.П.Шевелько*³⁾

Предложен и реализован метод формирования интенсивного направленного ВУФ излучения из лазерной плазмы с помощью многослойных зеркал нормального падения. Достигнутая плотность потока энергии излучения в спектральной области λ 182 А составила величину $1 \cdot 10^7$ Вт/см².

Высокотемпературная лазерная плазма, получаемая на мишенях с большим атомным номером Z , является интенсивным источником излучения в ВУФ области спектра¹⁻⁴. Достигнутый в последнее время определенный прогресс в изготовлении высокоотражающих многослойных зеркал в этой области спектра⁵⁻⁷ позволяет рассматривать лазерную плазму, обладающую высокой яркостью и малым размером излучающей области, как наиболее эффективный источник для создания высокоинтенсивных коллимированных пучков ВУФ излучения. Такие пучки могут в дальнейшем использоваться в качестве "лампы" накачки коротковолновых лазеров, в рентгенолитографии, в приложениях в атомной физике и т. д.

Целью данной работы являлось исследование возможности формирования многослойными сферическими зеркалами интенсивного направленного ВУФ излучения из высокотемпературной лазерной плазмы, получаемой на поверхности твердых массивных мишеней с большим Z .

Для создания плазмы использовалось излучение второй гармоники ($\lambda = 0,53$ мкм) лазера на Nd стекле со следующими параметрами импульса: энергия до 20 Дж, длительность 3 нс. Излучение фокусировалось линзой $f = 300$ мм в пятно диаметром ~ 30 мкм на поверхность ренневой мишени (атомный номер 75), расположенный в вакуумной камере (давление 10^{-3} торр).

В эксперименте использовались два идентичных Mo – Si многослойных зеркала (МЗ), изготовленные методом электронно-лучевого испарения⁷ на вогнутую кварцевую подложку

¹⁾ Институт общей физики АН СССР.

²⁾ Институт прикладной физики АН СССР.

³⁾ Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР.

(радиус кривизны 150 мм, диаметр 27 мм). Параметры МЗ: период $2d = 182 \text{ \AA}$, пиковый коэффициент отражения при нормальном падении 20 %, спектральная разрешающая способность $\lambda / \Delta\lambda = 14$. Зеркала устанавливались симметрично под углом 30° к оси лазерного пучка и нормали к мишени и отображали лазерную плазму с увеличением 2^\times на фотопленку УФ-4 и на люминесцентный приемник (рис. 1). Люминесцентный приемник состоял из ФЭУ-51 и стеклянной пластинки с нанесенным на нее слоем салицилата натрия, толщиной $3 \div 7 \text{ мг/см}^2$. Поскольку квантовый выход салицилата натрия в области длин волн $100 - 3400 \text{ \AA}$ постоянен ^{8, 9}, абсолютная калибровка квантового выхода приемника проводилась на длине волны $\lambda = 3080 \text{ \AA}$ (излучение эксимерного ХеС1-лазера). С помощью откалиброванного таким способом приемника была осуществлена и абсолютная калибровка фотопленки УФ-4 на длине волны $\lambda = 182 \text{ \AA}$.

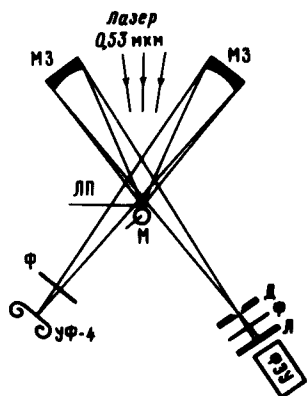


Рис. 1

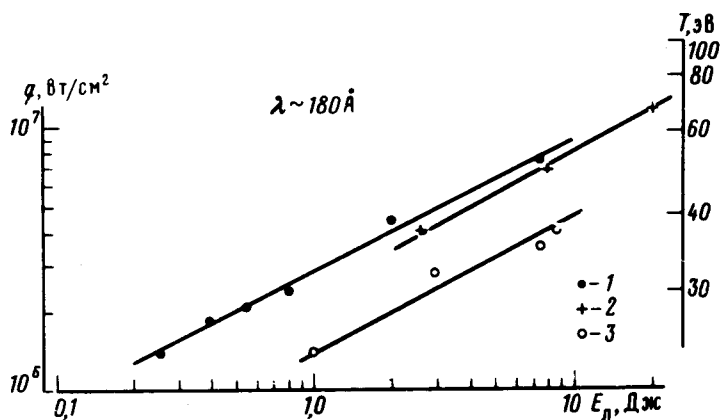


Рис. 2

Рис. 1. Схема эксперимента: ЛП – лазерная плазма, М – мишень, МЗ – многослойное зеркало, Ф – алюминиевые фильтры, Д – диафрагма, Л – люминофор

Рис. 2 Плотность потока q ВУФ-излучения в области $\lambda 180 \text{ \AA}$ и соответствующая ей яркостная температура плазмы T в зависимости от энергии лазерного импульса $E_{л}$: пиковое значение q , полученное по распределению интенсивности на фотопленке (1); среднее значение q , полученное по измерениям с люминесцентным приемником и диафрагмой диаметром 120 мкм (2) и 220 мкм (3)

В качестве фильтров для видимого излучения в эксперименте использовались алюминиевые фольги с толщинами 0,6 и 1,2 мкм. Пропускание фильтров на длине волны 182 \AA измерялось независимо и составляло 15 и 1,9 % соответственно. Контрольные эксперименты показали, что сигнал от видимого излучения плазмы, проходившего через микроотверстия в фольгах, составлял не более 1 % от сигнала ВУФ излучения. Для оценки вклада длинноволнового излучения, определяющегося полосой пропускания алюминиевого фильтра ($\lambda = 170 \div 700 \text{ \AA}^{10}$) и величиной коэффициента отражения МЗ вне селективной области, многослойное зеркало заменялось на зеркало с вольфрамовым покрытием. Регистрируемый сигнал при этом уменьшался более чем в 5 раз. Таким образом, вклад в сигнал излучения плазмы вне селективной области МЗ $\lambda 182 \text{ \AA}$ составлял не более 20 %.

Основной целью эксперимента являлось измерение плотности потока энергии излучения q в области $\lambda 182 \text{ \AA}$ в плоскости изображения МЗ лазерной плазмы. Измерения проводились двумя способами: по распределению интенсивности в пятне на фотопленке УФ-4 и с помощью диафрагм различного диаметра, устанавливаемых непосредственно перед приемником. На рис. 2 приведены результаты измерения плотности потока q в зависимости от энергии лазерного импульса. Длительность ВУФ излучения при этом принималась равной длительности

лазерного импульса (см., например, ³). Полученные данные позволяют определить распределение яркостной температуры T в лазерной плазме (рис. 2, 3). Из рис. 2, 3 видно, что максимальная плотность потока в области $\lambda 182 \text{ \AA}$ достигала величины $q = 1 \cdot 10^7 \text{ Вт/см}^2$, а яркостная температура $T \sim 70 \text{ эВ}$. Точность измерения энергетических величин мы оцениваем фактором 2, причем в работе приводятся наименьшие значения.

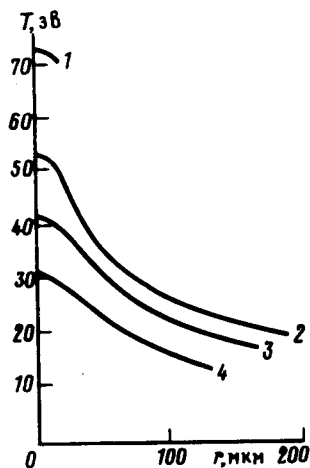


Рис. 3. Радиальное распределение яркостной температуры T на поверхности мишени при различных энергиях лазерного импульса $E_{\text{л}} = 20 \text{ Дж} - 1$; $7,5 \text{ Дж} - 2$; $3,0 \text{ Дж} - 3$; $0,8 \text{ Дж} - 4$

Характерный размер изучающей области в плазме $\sim 100 \text{ мкм}$ (рис. 3) позволяет формировать с помощью МЗ коллимированные пучки ВУФ излучения с расходимостью не хуже 10^{-3} рад в области длин волн $100 \div 600 \text{ \AA}$, в которой в настоящее время существуют МЗ нормального падения ⁵⁻⁷. Степень монохроматичности ВУФ излучения в этой работе определялась спектральной селективностью МЗ и составляла величину $\lambda/\Delta\lambda = 14$. Возможен такой выбор вещества мишени и режима ее облучения, когда в полосе отражения МЗ будет содержаться сильная изолированная линия, что позволит получить степень монохроматичности $\sim \lambda/\Delta\lambda_{\text{доплер}} = 10^3 \div 10^4$. Эффективность преобразования энергии лазерного излучения $E_{\text{л}}$ в энергию ВУФ излучения $E_{\text{вУФ}}$, формируемого с помощью МЗ, в данном эксперименте составляла величину $\eta = E_{\text{вУФ}}/E_{\text{л}} = 10^{-5} \div 10^{-6}$. Выбор оптимальной геометрии эксперимента, подбор материала мишени для получения максимального выхода излучения в области $\lambda 182 \text{ \AA}$, применение большей апертуры МЗ позволяют увеличить значения q и η на $1 \div 2$ порядка величины. Отметим, что в последнее время появились сообщения о наблюдении в лазерной плазме усиления стимулированного излучения в ВУФ диапазоне спектра на переходах в многозарядных ионах SeXXV , $\lambda 206 - 209 \text{ \AA}$ ¹¹ и CVI $\lambda 182 \text{ \AA}$ ¹². Эффективность преобразования в этих экспериментах составляла величину $\eta = 10^{-10} \div 10^{-5}$.

Авторы выражают глубокую благодарность В.И.Мишачеву за изготовление алюминиевых фильтров, В.А.Слемзину и О.Ф.Якушеву за помощь в проведении эксперимента, М.А.Мазинг и Л.П.Преснякову за внимание к работе.

Литература

1. Mead W.C., Campbell E.M., Estabrook K.G. et al. Phys. Fluids, 1983, 26, 2316.
2. Касьянов Ю.С., Леонов Ю.С., Плешков Г.И. ЖТФ, 1984, 54, 1386.
3. Mochizuki T., Yabe T., Okada K. et al. Phys. Rev., 1986, A33, 525.
4. Eidmann K., Kishimoto T. Appl. Phys. Lett., 1986, 49, 377.
5. Keski-Kuha R.A.M. Appl. Opt., 1984, 23, 3534.
6. Barbee T.W., Mrowka S., Hettrick M.C. Appl. Opt., 1985, 24, 883.
7. Гапонов С.В., Дубров В.В., Забродин И.Г. и др. Письма в ЖТФ, 1987, 13, 214.
8. Samson J.A.R. Techniques of Vacuum Ultraviolet Spectroscopy, 1967, New York.
9. Samson J.A.R., Haddad G.N. JOSA, 1974, 64, 1346.

10. *Hagemann H.-J., Gudat W., Kunz C. JOSA, 1975, 65, 742.*

11. *Matthews D.L., Hagelstein P.L., Rosen M.D. et al. Phys. Rev. Lett., 1985, 54, 110.*

12. *Suckewer S., Skinner C.H., Kim D. et al. Phys. Rev. Lett., 1986, 57, 1004.*

Физический институт им. П.Н.Лебедева

Академии наук СССР

Поступила в редакцию

17 сентября 1987 г.
