

Московский энергетический институт

Поступило в Редакцию
12 сентября 1987 г.
В окончательной редакции
16 декабря 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 9

12 мая 1988 г.

КОРОТКОВОЛНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МОШНОГО ИОННОГО ПУЧКА С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МИШЕНЬЮ

А.Н. Д и д е н к о, В.С. П а к,
Г.Е. Р е м н е в, С.С. С у л а к ш и н,
С.А. Ч и с т я к о в

Как известно из экспериментов по взаимодействию лазерного излучения с различными мишенями, образующаяся на поверхности плазма является источником интенсивного ультрафиолетового, вакуумно-ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучений [1-3]. Спектральная плотность излучения в этом случае на несколько порядков выше, чем, например, при синхротронном излучении, что делает такие источники весьма перспективными для различных применений (литографирование, рентгеноскопия и др.).

Однако лазер не является единственным источником, позволяющим создавать плотную неравновесную плазму на поверхности мишени. Успехи в развитии физики и техники мощных электронных и ионных пучков [4] позволяют в настоящее время получать пучки с плотностью мощности 10^7-10^{14} Вт/см². По-видимому, наиболее перспективными являются мощные ионные пучки, поскольку малые пробеги ионов в веществе делают возможным даже при сравнительно небольших значениях плотности мощности (10^7-10^8 Вт/см²) создание значительных концентраций энергии (10^4-10^5 Дж/г), заведомо превышающих необходимые для создания плазмы. Имеющиеся теоретические оценки [5, 6] позволяют предположить высокий КПД преобразования энергии МИП в энергию коротковолнового излучения.

В настоящей работе приводятся первые результаты экспериментов по созданию плазмы на поверхности металлической мишени под действием МИП с плотностью мощности $\sim 10^8$ Вт/см² и измерений интегральных характеристик ее излучения в коротковолновой части спектра.

Эксперименты проводились на ускорителе „Тонус”, работавшем в двухимпульсном режиме [7]. Источником ионов служил магнитоизолированный диод с баллистической фокусировкой (схема эксперимен-

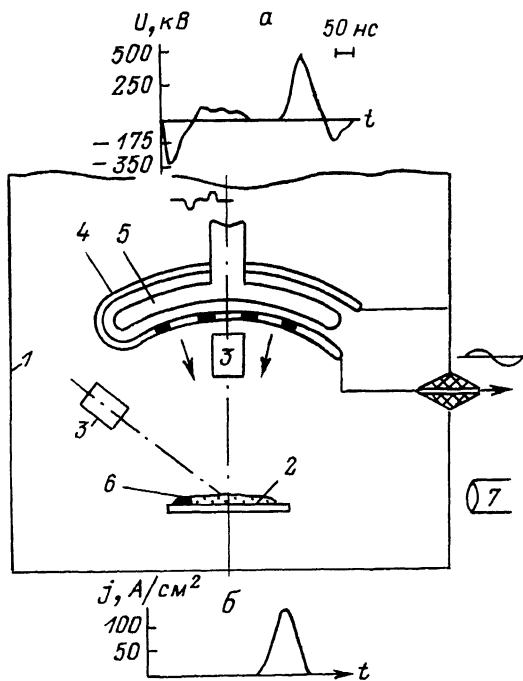


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 - экспериментальная вакуумная камера; 2 - мишень; 3 - контейнер с датчиком (пленка, ТЛД или калориметр); 4 - "земляной" электрод диода; 5 - потенциальный электрод диода; 6 - плазма, образовавшаяся на поверхности мишени; 7 - камера "Агат-СФ". Вверху рисунок - осциллограмма импульса напряжения, подаваемого на потенциальный электрод, внизу - осциллограмма импульса тока МИП, падающего на мишень.

та приведена на рис. 1). Параметры пучка: плотность тока в фокальном пятне $j_i \approx 250 \text{ А/см}^2$, энергия ионов $T_i \approx 500 \text{ кэВ}$, длительность импульса $\tau_u \approx 10^{-7} \text{ с}$, площадь фокального пятна $S = 6 \text{ см}^2$. Состав пучка: $\sim 70\%$ протонов (H^+) и $\sim 30\%$ $^{12}\text{C}^+$. Мишенями служили пластинки из Al и Pb толщиной 1 мм.

Для оценки параметров плазмы, образующейся на поверхности мишени при воздействии на нее МИП, производилось фотографирование профиля мишени фотохронографом "Агат-СФ". Типичная фотохронограмма приведена на рис. 2. Денситометрирование и сравнение с эталонным источником света дают для светящейся границы плазмы величину температуры $\sim 10-10^2 \text{ эВ}$ при плотности $\sim 10^{18}-10^{19} \text{ см}^{-3}$, что хорошо согласуется с оценкой скорости движения границы на уровне 10^7 см/с . Плотность оценивалась также из измерений количества вещества, испаренного за один импульс (взвешиванием мишени до и после воздействия МИП).

Для измерения дозовых характеристик использовались термolumинесцентные дозиметры (ТЛД) на основе LiF , рентгеновская

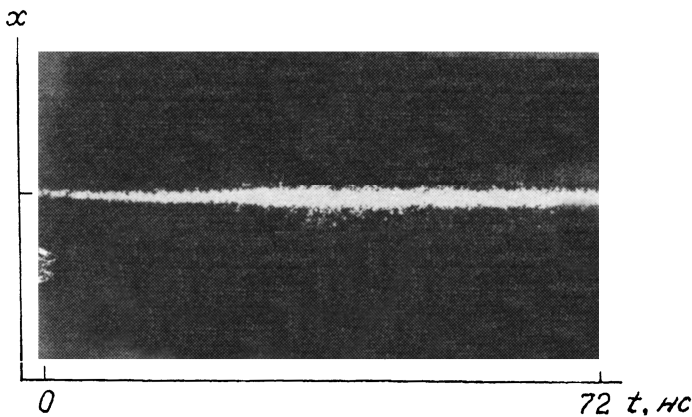


Рис. 2. Фотохронограмма разлета плазмы с поверхности мишени (материал мишени - Al).

пленка типа РТ-4М и специально сконструированный калориметр. Все перечисленные средства размещались внутри свинцовых контейнеров с коллиматорами, которые закрывались фольгами из Al , Cu , Pb и Ti различной толщины.

Измерения показали, что максимальное значение экспозиционной дозы на расстоянии ~ 5 см от центра мишени под углом $\sim 30^\circ$ к ее плоскости составляет $\sim 10^4$ Р за импульс, что соответствует значению дозы, при которой происходит необратимое изменение параметров кристалла LiF . Из-за отсутствия надежных сенситометрических данных для пленок типа РТ-4М в диапазоне мягкого рентгеновского излучения (МРИ) полученные с их помощью результаты носят сравнительно-качественный характер и служили для оперативного контроля параметров МРИ при изменении условий эксперимента. Оценка верхнего порога энергии МРИ производилась по показаниям ТЛД, установленных за поглотителями различной толщины. С помощью известного выражения

$$\mu(E_\gamma) = \frac{\ln D(d_1) - \ln D(d_2)}{d_2 - d_1}, \quad (1)$$

где $D(d_n)$ — величина дозы, находилось значение линейного коэффициента ослабления излучения $\mu(E_\gamma)$, которое сопоставлялось с известными табличными данными $\mu_m(E_\gamma)$ для материала фильтра [8]. Результаты оценки показывают, что максимум интенсивности излучения для использованных материалов мишеней лежит в интервале 25–30 кэВ. Однако потемнение пленок даже за фильтрами максимальной толщины свидетельствует о наличии излучения и более высоких энергий, вплоть до ~ 100 кэВ.

Для проведения калориметрических измерений был сконструирован калориметр, в котором чувствительным элементом являлся

диод типа КД102А, находящийся в тепловом контакте с коллектором-поглотителем, в качестве которого была выбрана пластинка из РВ толщиной 0,180 мм. Измеренное максимальное значение лучистой экспозиции МРИ на расстоянии 5 см от центра мишени составило величину 200 ± 50 Дж/м², что хорошо согласуется с измеренной экспозиционной дозой с учетом „хода с жесткостью” ТЛД на основе LiF [9].

Приведенные результаты позволяют оценить КПД генерации МРИ относительно полной энергии МИП приблизительно на уровне 5–10%.

Совокупность изложенного приводит к выводу, что в результате взаимодействия МИП с плотностью мощности $\sim 10^8$ Вт/см² с металлической мишенью на ее поверхности образуется плотная плазма, являющаяся интенсивным источником коротковолнового излучения. Относительно высокий КПД высвечивания делает необходимым проведение дальнейших тщательных исследований характеристик излучения и их зависимости от параметров пучка. Особый интерес полученные результаты представляют, если рассматривать образующуюся плазму в качестве активной среды коротковолновых лазеров.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность В.М. Головкову, В.В. Мамееву за консультации, С.А. Печенкину и О.И. Хоменко за практическую помощь на отдельных этапах работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] В и н о г р а д о в А.В., Ш л я н ц е в В.Н. – Квантовая электроника, 1987, т. 14, № 1, с. 5–27.
- [2] R o b i n s o n A.L. – Science, 1979, v. 205, N 21, p. 1239–1242.
- [3] К е у М.Н. – Nature, 1985, v. 316, p. 314–317.
- [4] Б ы с т р и ц к и й В.М., Д и д е н к о А.Н. Мощные ионные пучки, М.: Энергоатомиздат, 1984. 214 с.
- [5] Д е р ж и е в В.И., Ж и д к о в А.Г., Я к о в л е н к о С.И. Излучение ионов в неравновесной плотной плазме, М.: Энергоатомиздат, 1986. 160 с.
- [6] Д о б к и н А.А., М а л я в и н а Т.Б., Н е м ч и н о в И.В. – ДАН, 1981, т. 261, № 6, с. 1337–1339.
- [7] Л о г а ч е в Е.И., Р е м н е в Г.Е., У с о в Ю.П. – ПТЭ, 1983, № 1, с. 21–23.
- [8] Н е м е ц О.Ф., Г о ф м а н Ю.В. Справочник по ядерной физике. Киев: Наук. думка, 1975. 415 с.
- [9] Е г е р Р. Дозиметрия и защита от излучений, М.: Госатомиздат, 1961. 211 с.

Научно-исследовательский институт
ядерной физики при Томском
политехническом институте
им. С.М. Кирова

Поступило в Редакцию
16 сентября 1987 г.