

04; 07; 12

© 1991

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЗРАЧНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИИ ПЛАЗМЫ БЫСТРОГО Z -ПИНЧА

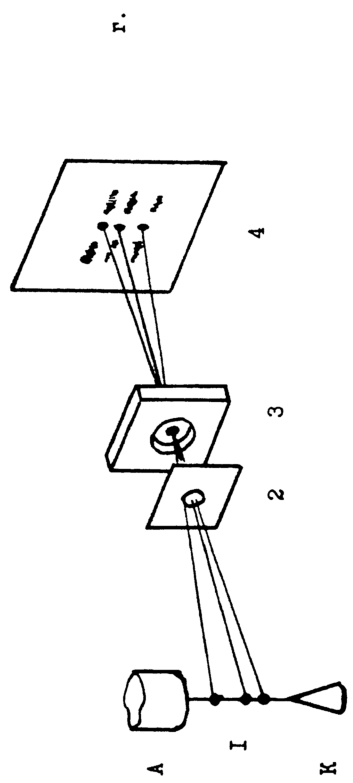
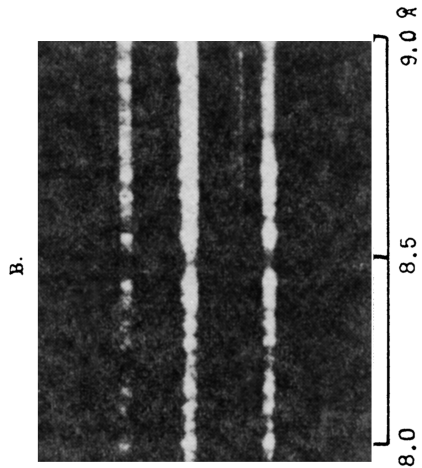
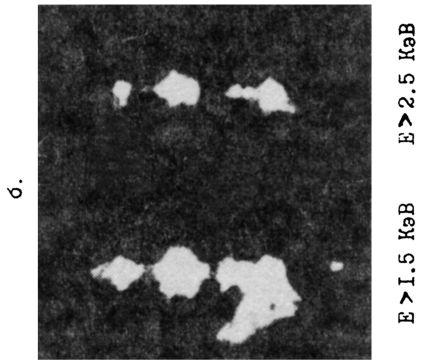
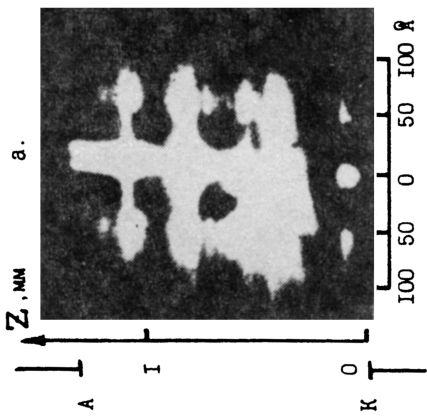
Б.А. Б р ю н е т к и н, Г.В. И в а н е н к о в,
С.А. П и к у з, В.Г. Р о м а н,
И.Ю. С к о б е л е в, А.Я. Ф а е н о в,
Т.А. Ш е л к о в е н к о

Диапазон длин волн $10-100 \text{ \AA}$ представляет большой интерес с точки зрения развития спектроскопических методов диагностики плазмы. В частности, при исследовании быстрых Z -пинчей [1, 2] параметры плазмы в процессе сжатия плазменного шнура изменяются в очень широких пределах. Например, при взрыве проволочек в сильноточных диодах плотность меняется от 10^{18} до 10^{23} см^{-3} , температура от 10 до 1000 эВ [3, 4]; излучение именно в указанном диапазоне в значительной мере определяет энергобаланс плазмы.

Использование традиционных спектрографов скользящего падения в этом случае представляется затруднительным, во-первых, из-за геометрии эксперимента (наличие электродов сложной конфигурации, токопроводов, находящихся под напряжением в сотни киловольт), во-вторых, из-за больших трудностей абсолютной калибровки приборов скользящего падения. В настоящей работе мы использовали спектрограф с дифракционной решеткой на пропускание [5, 6], представляющей собой периодическую систему безопорных (свободно-висящих) полосок с периодом $\sim 1 \text{ мкм}$, расположенных внутри отверстия $\phi 25-100 \text{ мкм}$.

Эксперименты проводились на установке БИН в Физическом институте АН СССР. Исследовался взрыв тонких проволочек из Al , Cu , Pd , W при токах 200 кА в импульсе длительностью $\sim 100 \text{ нс}$. Для получения изображений плазмы в различных спектральных диапазонах использовались камеры-обскуры с отверстиями 60 мкм и фильтрами из Be различной толщины, спектрограф с выпуклым кристаллом $SzAP$ с щелью пространственного разрешения

Рис. 1. Изображения плазмы взрывающейся проволочки из Cu в различных спектральных диапазонах: а - прозрачная решетка, б - камеры обскуры с фильтрами из Be , в - спектрограф с выпуклым кристаллом, г - схема установки прозрачной решетки; а - анод, к - катод; 1 - плазма, 2 - экран, 3 - прозрачная решетка, 4 - фотопленка.



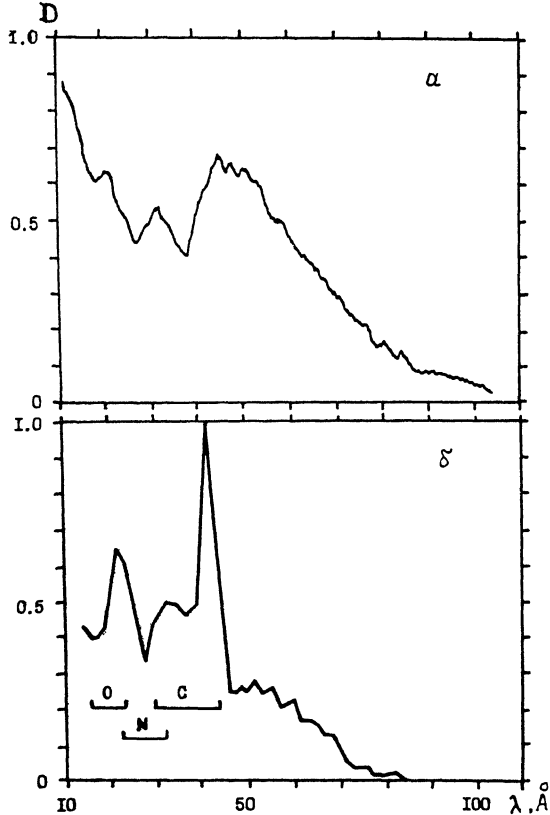


Рис. 2. а - денситограмма спектра рис. 1, а в области одной из „горячих точек“; б - восстановленный спектр.

150 мкм и прозрачная решетка из вольфрама с периодом $a = 1$ мкм и отношением зазор/период ≈ 0.5 . Решетка была изготовлена по оригинальной технологии (подробнее см. [7]) внутри отверстия в вольфрамовой мембране толщиной 0.36 мкм. Для регистрации обскурограмм и спектров использовалась пленка RAR-2490.

Изображения взрыва медной проволоки диаметром 20 мкм, покрытой органической оболочкой (нитролак) толщиной $5\frac{1}{2}$ мкм полученные с помощью прозрачной решетки, обычной обскуры и кристаллического спектрографа, представлены на рис. 1, а-в соответственно, а на рис. 1, г приведена схема установки прозрачной решетки. Так как мембрана, в которой была сформирована решетка, имела сравнительно большие размеры ($\phi \approx 1.5$ мм), то для защиты от прямой засветки жестким излучением перед решеткой дополнительно устанавливался экран из танталовой фольги толщиной 50 мкм с отверстием диаметром 150 мкм. Полученные изображения свидетель-

ствуют о довольно сложной структуре плазменного столба: помимо сравнительно большой области холодной плазмы, имеется несколько „горячих точек” диаметром $\ll 20$ мкм [3, 4], в основном излучающих в диапазоне $E_{\hbar\omega} \geq 200$ эВ.

В настоящей работе наибольший интерес для нас представляли спектры, полученные с помощью прозрачной решетки (рис. 1, а). Денситограмма спектра одной из „горячих точек” в диапазоне $10 \div 100 \text{ \AA}$ приведена на рис. 2, а. Для восстановления спектра источника был разработан специальный численный алгоритм, аналогичный предложенному в [8]. Необходимые денситометрические характеристики пленки RAR-2490 были взяты из работ [9, 10].

Восстановленный спектр (в относительных единицах) приведен на рис. 2, б. Четко видны пики, соответствующие излучению на переходах в основное состояние в Н- и Не-подобных ионах С, N, О (элементов, входящих в состав оболочки взрываваемой проволоки). Виден также L-спектр ионов Cu разной кратности ионизации, который довольно богат линиями в этом спектральном диапазоне, и разрешение было недостаточным для идентификации этих линий.

Оценим спектральное разрешение в наших экспериментах. Предельное спектральное разрешение определяется числом штрихов N в апертуре решетки D :

$$\Delta\lambda_{gr}^D = \frac{\lambda}{m} \frac{1}{N} = \frac{\lambda}{m} \frac{d}{D}$$

и равно $\Delta\lambda_{gr}^D = 4 \cdot 10^{-2} \lambda$ при $d=1$ мкм, $D=25$ мкм. Спектральное разрешение, связанное с конечным размером источника определяется выражением:

$$\Delta\lambda_{gr}^S = \frac{d}{m} \left[\frac{S+D}{r} + \frac{D}{R-r} \right],$$

где r – расстояние от источника до решетки, R – расстояние от источника до плоскости регистрации. В наших экспериментах $S=20$ мкм, $r=318$ мм, $R=525$ мм и $\Delta\lambda_{gr}^S \approx 2.6 \text{ \AA}$. Таким образом, в диапазоне $\lambda \geq 65 \text{ \AA}$ реализуется предельное спектральное разрешение, что связано с уникально малым размером источника. Отметим, что в экспериментах с лазерной плазмой размер источника обычно $S \geq 100$ мкм, и предельное разрешение реализовать практически невозможно.

Таким образом, в настоящей работе впервые продемонстрирована возможность использования прозрачной дифракционной решетки из W для спектроскопии плазмы. По сравнению с существующими в настоящее время решетками из Au, стоимость которых составляет обычно несколько тысяч долларов за экземпляр, решетки из W являются более дешевыми и, что важно, более прочными (имеются сообщения [11] о разрушении решеток из Au при больших потоках МРИ). В настоящее время ведутся работы по изготовлению решеток с периодом до 0.5 мкм и диаметром до 100 мкм.

- [1] Захаров С.М., Иваненков Г.В., Коломенский А.А., Пикуз С.А., Самохин А.И. // Физика плазмы. 1983. Т. 9. № 3. С. 469.
- [2] Бартник А., Иваненков Г.В., Карпински Л., Пикуз С.А., Шелковенко Т.А. // Препринт ФИАН, № 30, М., 1990.
- [3] Faenov A.Ya., Khakhalin S.Ya., Kolomenskiy A.A., Pikuze S.A., Samokhin A.I., Skobelev I.Yu. // J. Phys. D. 1985. V. 18. P. 1347.
- [4] Ivanenkov G.V., Lebedev A.N., Pikuze S.A. Preprint FIAN, N 210. 1989.
- [5] Schnopper H.W. et al. // Appl. Opt. 1977. V. 16. N 4. P. 1088.
- [6] Predehl P. et al. // Jap. J. Appl. Phys. V. 17. Suppl. 17/2. P. 445.
- [7] Балашова Г.И., Брюнеткин Б.А., Огурцов О.Ф. и др. Сб. научн. трудов, НПО „ВНИИФТРИ“, М., 1991.
- [8] Chaker M. et al. // Rev. Sci. Instr. 1989. V. 60. N 11. P. 3386.
- [9] Henke B.L. et al. // J. OSA. 1984. V. B1. N 6. P. 818 // Rev. Sci. Instr. 1985. V. 56. N 8. P. 1537.
- [10] Bengamin R.F. et al. // Appl. Opt. 1977. V. 16. N 2. P. 393.
- [11] Мас Гован В.Д. et al. // J. Appl. Phys. 1987. V. 61. N 12. P. 5243.

Поступило в Редакцию
23 августа 1991 г.