Исследование спектральной прозрачности плазмы тонких фольг олова при облучении их потоком мощного рентгеновского излучения

Александров В.В., Грабовский Е.В., Грицук А.Н., Грибов А.Н., Браницкий А.В., Волков Г.С., Митрофанов К.Н., Лаухин Я.Н., Олейник Г.М., Фролов И.Н., Шишлов А.О., Баско М.М.1, Сасоров П.В.1, Шевелько А.П.2, Толстихина И.Ю.2

АО ГНЦ РФ “Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований”,
 griar@triniti.ru
1ИПМ имени М.В. Келдыша, pavel.sasorov@gmail.com
2ФИАН «Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской Академии Наук»,
 Москва, Россия, shevelko@rambler.ru

Исследование спектральных коэффициентов поглощения рентгеновского излучения в плазме является одной из широко изучаемых теоретически и экспериментально задач физики плазмы. Определение коэффициентов поглощения излучения мишенями различных типов имеет большое значение для их последующего применения. Для теоретического моделирования коэффициентов поглощения необходимо знание детальной структуры атомов, населенностей уровней и форм спектральных линий с учетом много частичных взаимодействий в плазме. Это приводит к тому, что в существующих расчетно-теоретических моделях нужно применять ряд приближений, которые требуют экспериментальной проверки. Экспериментальные исследования в этой области проводятся с использованием различных источников мягкого рентгеновского излучения на основе лазерной плазмы или Z-пинча. В последнее время активно разрабатывается источник для литографии на длине волны λ=13.5 нм на основе вакуумной искры или лазерной плазмы, содержащей ионы олова, которые обладают очень интенсивным пиком излучения вблизи этой длины волны. Прозрачность Sn плазмы в области мягкого рентгеновского излучения (МРИ) является критическим параметром для исследования оптимальных условий генерации; однако достоверные экспериментальные данные отсутствуют либо ненадежны. Электронная температура и ионная плотность плазмы, излучающей в этой области, находятся в диапазонах от 20 до 80 эВ и от 1017 до 1020 см-3 соответственно. На установке Ангара-5-1 были проведены эксперименты по исследованию спектральной зависимости пропускания плазмы, созданной при облучении образцов, состоящих из тонкой пленки майлара толщиной 0.5 мкм с напылением слоя олова толщиной 0.2 мкм, потоком МРИ, генерируемого мощным вольфрамовым Z-пинчом. Плотность мощности излучения на мишени в максимуме МРИ при этом была ~0.5 ТВт/см2. В результате проведенных исследований получены скорости расширения плазмы по оптическим измерениям двух типов: в собственном излучении и по теневым лазерным изображениям. В фазе расширения пленки толщина слоя испаренного олова составляет 1.5 − 3 мм для опытов с наибольшей энергией импульса излучения пинча. Оценка плотности испаренного олова − 0,5 − 1 мг/см3. Скорость расширения границы олова по оптическим измерениям в собственном излучении до максимума МРИ равна 20 − 30 км/с, в районе максимума сигнала – 100 − 240 км/с. Показано, что происходит индуцированное облучением мощного потока рентгеновского излучения Z-пинча увеличение пропускания плазмы олова в диапазоне длин волн более 100 Å. При этом уверенно регистрируется интенсивное собственное излучение мишени Sn+пластик. Полученные экспериментальные данные по прозрачности сравниваются с расчетами прохождения излучения через нагретую плазму олова и майлара.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 16-02-00084, № 16-02-00491, № 16-02-00112, № 17-02-00167 и № 18-02-00170).