

Влияние структуры корунда на характеристики многозарядных ионов лазерной плазмы

М.Р.Бедиллов, Х.Б.Бейсембаева, М.С.Сабитов

Исследовано взаимодействие интенсивного лазерного излучения ($\lambda = 1.06$ мкм) с облученным корундом. Исследования велись коллекторным способом и методом времяпролетной масс-спектрометрии. Совместный анализ электронных и ионных токов, а также зарядовых и энергетических характеристик многозарядных ионов плазмы, образующейся на облученной и исходной мишенях, позволяет утверждать, что предварительное нейтронное облучение образца с флюенсом $10^{15} - 10^{19}$ нейтр./см² способствует образованию более высокотемпературной плазмы.

Ключевые слова: лазерная плазма, корунд, многозарядные ионы.

Интерес к лазерной плазме, являющейся источником излучения в широком спектральном диапазоне, а также заряженных частиц и нейтронов обусловлен рядом ее уникальных свойств – высокой плотностью, огромными температурами и давлением [1–3]. Образование плазмы при умеренных плотностях мощности лазерного излучения на поверхности мишени связано с разрушением последней [4], поэтому существующие в мишени различные статические и динамические дефекты могут, очевидно, влиять на эффективность процессов, происходящих при взаимодействии с ней лазерного излучения [5–7].

В настоящей работе исследуется влияние структурных несовершенств мишени на ее взаимодействие с излучением неодимового лазера ($\lambda = 1.06$ мкм). Структурные нарушения в исследуемом образце создавались облучением его реакторным излучением с флюенсом $10^{15} - 10^{19}$ нейтр./см². В качестве объекта исследований был выбран корунд, т. к. на нем можно не только выяснить влияние структурных дефектов, наводимых нейтронами, но и оценить роль γ -составляющей реакторного излучения.

Излучение неодимового лазера (длительность импульса $\tau \sim 50$ нс, энергия 3 Дж) фокусировалось на поверхность образца. Интенсивность излучения на поверхности мишени q варьировалась с помощью нейтральных светофильтров в интервале 1–100 ГВт/см². Изучались электронные и ионные токи, а также зарядовые и энергетические распределения многозарядных ионов, разлетающихся в составе образующейся плазмы. Помимо этого исследовалось влияние предварительного облучения на свойства мишени (теплопроводность, оптическое поглощение, лучевую стойкость).

Измерения электронных и ионных токов велись коллекторным методом, исследование зарядовых и энергетических характеристик ионов – методом времяпролетной масс-спектрометрии. После каждого воздействия точка взаимодействия мишени с лазерным излучением

менялась с целью исключения влияния кратерообразования на параметры заряженных частиц [8].

Исследование электронных и ионных токов, а также зарядовых и энергетических характеристик многозарядных ионов плазмы, образующейся при воздействии интенсивного лазерного излучения на поверхность предварительно облученной мишени, показало, что при этом сохраняются основные закономерности, наблюдаемые при взаимодействии светового потока с необлученным твердым телом, т. е. с ростом q увеличивается выход ионов, повышаются их заряд и энергия.

Сравнение зарядового распределения плазмы, эмитируемой из облученной мишени, с аналогичной характеристикой плазмы, источником которой служили необлученные образцы, показало, что образующиеся при облучении дефекты изменяют эффективность взаимодействия лазерного излучения с исследуемым объектом. Экспериментально установлено, что качественная картина изменения зависит от вида и дозы радиации предварительного облучения.

Доминирующая роль структурных дефектов, влияющих на эффективность взаимодействия, в изменении свойств исследованных мишеней наглядно прослеживается на результатах, полученных в случае мишени из Al_2O_3 (корунд). Например, если γ -облучение корунда до доз 10^{10} Р, не вызывающее в нем структурных нарушений [9], не отразилось на заряде Z_{max} ионов Al и O, то в плазме, образующейся при воздействии излучения с идентичным q на реакторно-облученный образец, ионы Al и O имеют большее зарядовое распределение, нежели до облучения. Так, в случае воздействия на необлученный Al_2O_3 излучения с $q = 10^{11}$ Вт/см² заряд Z_{max} ионов O и Al не превышал 4 и 3 соответственно; в случае же предварительного облучения мишени потоком нейтронов с флюенсом $2 \cdot 10^{18}$ нейтр./см² интенсивность сигналов от ионов, зафиксированных в плазме, повысилась по сравнению с плазмой необлученного образца, а сам зарядовый спектр пополнился линиями ионов $O^{5+} - O^{7+}$, Al^{4+} (рис.1).

Влияние структурных нарушений подтверждается и результатами, полученными при восстановительном отжиге реакторно-облученного корунда. В случае воздействия на Al_2O_3 , облученный нейтронами с указанным

$$\omega = \frac{kT}{h} \frac{f^*}{f} \exp\left(-\frac{\lambda_1}{kT}\right),$$

где f^* – статистическая сумма активированного комплекса, в которой не учитывается вклад «реакционной» координаты; f – статистическая сумма связанного в кристаллической решетке атома; λ_1 – энергия активации, равная энергии, необходимой для испарения одного атома при абсолютном нуле; T – температура слоя, из которого идет испарение.

Если считать, что в облученном образце λ_1 и f не меняются, то поскольку T в этом случае больше, чем в необлученном образце, вероятность испарения должна быть выше. Учитывая при этом существование областей, в которых часть атомов имеет разорванные связи, можно предположить, что эти факторы увеличивают эффективность испарения. Наличие оптимальной интенсивности лазерного излучения ($q_{\text{opt}} \approx 10^{10}$ Вт/см²), при которой эффект проявляется наиболее сильно, свидетельствует о верности нашего предположения, т. к. при данных q испарение твердого тела под действием электромагнитного излучения обусловлено тепловым механизмом [4].

В результате увеличения плотности выброшенного вещества время экранирования поверхности мишени от воздействующего светового потока сокращается, что приводит к увеличению доли энергии, идущей на нагрев и ионизацию плазменного сгустка.

Стремление облученного образца избавиться от напряженности (возникшей в нем при образовании структурных нарушений) в волне разгрузки, протекающей в мишени при выходе ударной волны на поверхность, приводит к увеличению гидродинамического ускорения. Этим, а также образованием более плотной плазмы объясняется экспериментально наблюдаемое уменьшение E_{min} для ионов, образующихся из облученной мишени. Поскольку сама плазма при этом прогревается до более высоких температур, очевидно, что вышеперечисленные факторы увеличивают скорость ее разлета. В результате сокращения времени пребывания плазмы в зоне реком-

бинации эффективность рекомбинационных процессов снижается и ионы выходят из зоны плотной плазмы с меньшими потерями как по заряду, так и по числу.

Полученные результаты могут быть использованы при создании лазерных источников многозарядных ионов.

1. Быковский Ю.А., Неволин В.Н. *Лазерная масс-спектрометрия* (М., Энергоатомиздат, 1985).
2. Быковский Ю.А., Сильнов С.М., Шарков Б.Ю. и др. *Физика плазмы*, **2**, 248 (1976).
3. Быковский Ю.А., Сильнов С.М., Шарков Б.Ю. и др. *Физика плазмы*, **3**, 1153 (1977).
4. Анисимов С.И., Имас Я.А., Романов С.Г., Ходыко Ю.В. *Действие излучения большой мощности на металлы* (М., Наука, 1970).
5. Моин М.Д. *ФТТ*, **26**, 2742 (1984).
6. Бедилов М.Р., Бейсембаева Х.Б., Абдупатаев Р., Хабибуллаев П.К. *ДАН СССР*, **283**, 857 (1986).
7. Бедилов М.Р., Бейсембаева Х.Б., Карамышева С.А., Сабитов М.С. *Квантовая электроника*, **15**, 1610 (1988).
8. Бедилов М.Р., Хабибуллаев П.К., Цой Т.Г. *ДАН УзССР*, № 1, 24 (1981).
9. Выдрик Г.А., Костюков Н.С., Харитонов Ф.Я. *Радиация и коррозионная стойкость электрокерамики* (М., Атомиздат, 1973).
10. Turner J.J. *Phys.Rev.B*, **13**, 1735 (1976).
11. Делоне Н.Б. *Взаимодействие лазерного излучения с веществом* (М., Наука, 1982).
12. Penner S.S. *J.Phys.Chem.*, **65**, 702 (1961).

M.R.Bedilov, Kh.B.Beisembaeva, M.S.Sabitov. Influence of corundum structure on the characteristics of multiply charged ions in a laser-produced plasma.

An investigation was made of the interaction of intense laser radiation ($\lambda = 1.06 \mu\text{m}$) with previously irradiated corundum. The studies were performed in the collecting mode employing time-of-flight mass spectrometry. Electron and ion currents were considered simultaneously with charge-state and energy characteristics of multiply charged ions of the plasmas produced at the source and previously irradiated targets. The combined consideration allows the conclusion that the prior neutron irradiation of a sample by a fluence of $10^{15} - 10^{19}$ neutr./cm² makes for production of a higher-temperature plasma.