

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

4659/82

27/9-82  
P7-82-552

Г.М.Арзуманян, Д.Д.Богданов, Ю.А.Быковский,  
А.М.Родин, С.М.Сильнов, Г.М.Тер-Акопян

ОСОБЕННОСТИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ  
СПЕКТРА ИОНОВ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ

Направлено в журнал "Письма в ЖТФ"

1982

Масс-спектрометрическим методом исследовались энергетический и зарядовый спектры ионов, образованных при воздействии лазерного излучения наносекундной длительности на твердое вещество. Основное внимание было уделено низкоэнергетической части спектра ионов, поскольку эта область энергетического распределения представляется недостаточно изученной.

Источником лазерного излучения служил оптический квантовый генератор ЛТИ-ПЧ-8, работающий в режиме гигантских импульсов. Исследование характеристик ионной компоненты проводилось в диапазоне плотностей потока от  $10^7$  до  $7 \times 10^9$  Вт/см<sup>2</sup>. В качестве мишеней использовались элементы от углерода до свинца. Образованная на поверхности исследуемой мишени плазма расширялась внутри дрейфовой трубки длиной 100 мм и достигала узла формирования и ускорения пучка. Пучок ионов с энергией 40 кэВ анализировался секторным магнитом, в фокальной плоскости которого помещался цилиндр Фарадея. Сигнал токового импульса ионов наблюдался на экране осциллографа. Подробное описание методики приведено в работе<sup>1/</sup>.

Известно, что при воздействии лазерного излучения с плотностью потока  $\sim 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> на поверхность твердой мишени образуется плазменный сгусток, поглощающий основную часть световой энергии<sup>2/</sup>. Степень поглощения излучения сгустком и выход многозарядных ионов зависит от диаметра пятна фокусировки. В нашем случае он составлял 300 мкм, что является оптимальным с точки зрения выхода двух- и трехзарядной компоненты<sup>3/</sup>. Были зарегистрированы ионы с максимальной кратностью ионизации до  $z = +6$ . При этом измененное количество двух- и трехзарядных ионов составляло соответственно  $15 \div 50\%$  и  $1 \div 10\%$  от полного числа извлеченных ионов в зависимости от материала мишени. Полученные экспериментальные данные представлены в таблице.

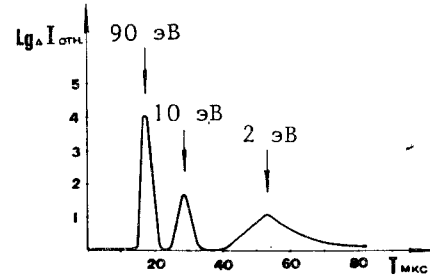
Отметим, что полное количество извлеченных ионов слабо зависит от материала мишени и составляет величину  $1 \div 3 \times 10^{10}$  ионов/имп.

Временная структура тока однозарядных ионов имеет сложную форму, в которой можно выделить три группы ионов. На рисунке представлено временное распределение импульса тока для однозарядных ионов никеля. Основная часть ионов относится к первой группе и распределена в энергетическом интервале  $30 \div 600$  эВ /левый пик на рисунке/. Максимум тока соответствует энергии ионов  $E = 100 \pm 10$  эВ. Такое энергетическое распределение типично

Таблица

Относительный выход ионов из лазерной плазмы при плотности потока лазерного излучения  $3 \times 10^9$  Вт/см<sup>2</sup>

	AgBr						CsJ					
	Fe	Cu	Br	Ag	Mo	In	J	Cs	Ta	Pb		
1 <sup>+</sup>	0,35	0,39	0,81	0,79	0,70	0,80	0,73	0,75	0,68	0,85		
2 <sup>+</sup>	0,53	0,50	0,15	0,16	0,23	0,16	0,22	0,20	0,26	0,13		
3 <sup>+</sup>	0,12	0,11	0,04	0,05	0,07	0,04	0,05	0,05	0,06	0,02		



Временное распределение импульса тока для однозарядных ионов никеля.

для однозарядных ионов лазерной плазмы<sup>4,5/</sup>. Пороговое значение плотности потока излучения для данной компоненты составляет  $2 \div 6 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> для всех исследованных мишеней.

В области малых энергий ионов можно выделить две группы с энергиями 10 и 2 эВ. Относительный выход ионов с энергиями 2 эВ /правый пик на рисунке/ составлял до 5% от выхода ускоренных ионов и зависел от материала мишени. Зависимость выхода ионов этой группы от интенсивности лазерного излучения совпадает с зависимостью для ионов лазерной плазмы. Это совпадение, а также низкие значения энергий, позволяет предположить, что механизмом образования ионов этой группы является вторичное взаимодействие лазерной плазмы с поверхностью мишени.

При исследовании мишеней из окислов Fe, La, In, Ta, Pb и других металлов наблюдались молекулярные ионы типа  $MeO^{+1}$  с относительным выходом  $2 \div 5 \times 10^{-3}$  от полного ионного тока. Энергетическое распределение и временная структура молекулярных ионов полностью повторяли картину для однозарядных ионов третьей группы. Это свидетельствует о том, что механизм образования молекулярных ионов также обусловлен вторичным взаимодействием лазерной плазмы с поверхностью мишени. Заряженных молекул с энергией 100 эВ мы не наблюдали на уровне чувствительности  $5 \times 10^{-6}$ .

При исследовании зависимости выхода группы ионов с энергией 10 эВ от интенсивности лазерного излучения оказалось, что пороговое значение плотности потока образования этих ионов значительно ниже  $10^7$  Вт/см<sup>2</sup>. Начиная с плотностей потока  $5 \times 10^8$  Вт/см<sup>2</sup> выход ионов этой группы практически не зависел от интенсивности лазерного излучения и оставался постоянным. Причем процесс образования лазерно-плазменного сгустка не сказывался на выходе ионов этой группы. Установлена корреляция между выходом ионов низкоэнергетической части спектра и потенциалом ионизации исследуемого элемента. Так, например, при исследовании мишеней AgBr и CsJ количество однозарядных ионов с энергиями порядка 100 эВ одинаково для обеих компонент /см. таблицу/. Выход ионов с малыми значениями энергий  $E < 30$  эВ для йода и брома на порядок ниже, чем для цезия и серебра. Низкие пороговые значения интенсивности лазерного излучения и зависимость выхода от потенциала ионизации говорят в пользу того, что возможным механизмом образования ионов второй группы является термоионизация.

В заключение отмѣтим, что значительное различие энергий атомной и молекулярной ионных компонент позволяет осуществить эффективную очистку ионного пучка от ионизованных молекул. Наиболее технически простым нам представляется способ предварительной энергетической селекции ионов лазерной плазмы замедляющим электростатическим полем. Проведенные на масс-спектрометре измерения показали, что при замедляющем потенциале 20 В содержание ионизованных молекул в ионном пучке при работе с мишенями из окислов не превышает  $5 \times 10^{-6}$ , в то время как при нулевом замедляющем потенциале их доля составляет  $1 \div 3 \times 10^{-3}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Арзуманян Г.М. и др. ОИЯИ, P7-81-744, Дубна, 1981.
2. Басов Н.Г. и др. ЖЭТФ, 1968, 54, с. 1073.
3. Быковский Ю.А. и др. Физика плазмы, 1976, 2, с. 248.
4. Быковский Ю.А. и др. ЖЭТФ, 1971, 60, с. 1306.
5. Ковалев И.Д., Ларин Н.В., Максимов Г.А. Письма в ЖЭТФ, 1975, 1, с. 798.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 июля 1982 года.

Арзуманян Г.М. и др.

P7-82-552

Особенности низкоэнергетической части спектра ионов лазерной плазмы

Масс-спектрометрическим методом исследованы энергетические и зарядовые распределения атомных и молекулярных ионов, образованных при воздействии лазерного излучения наносекундной длительности на твердое вещество. Показано, что в области энергий  $E < 30$  эВ энергетический спектр однозарядных атомных ионов характеризуется двумя максимумами с энергиями 10 и 2 эВ. При использовании мишеней из окислов Fe, La, In, Ta, Pb и других металлов наблюдались молекулярные ионы типа  $MeO^{+1}$  с относительным выходом  $2-5 \times 10^{-3}$  от полного значения ионного тока. В образовании низкоэнергетических атомных и молекулярных ионов существенную роль играет механизм вторичного взаимодействия лазерно-плазменного сгустка с поверхностью вещества.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Arzumanyan G.M. et al.

P7-82-552

Specific Properties of Low Energy Part of Laser Plasma Ion Spectrum

Mass-spectrometric method is used to study the energy and charge of atomic and molecular ion distributions produced under action of laser radiation of nanosecond duration on a solid matter. It is shown that in the  $E < 30$  eV energy region the energetic spectrum of single-charge atomic ions has two maxima with 10 eV and 2 eV energies. Using targets prepared from Fe, La, In, Ta, Pb metal oxides molecular ions were observed of  $MeO^{+1}$  type with relative yield  $(2-5) \times 10^{-3}$  from the total ion current. The mechanism of secondary interaction of laser-plasma bunch with a matter surface is very essential for producing low energy atomic and molecular ions.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.