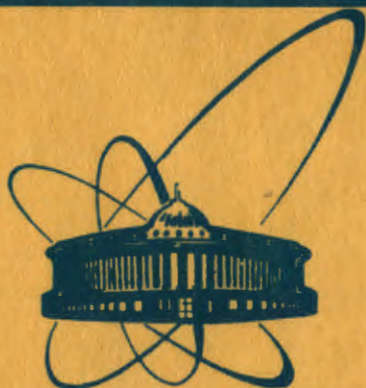


24/x-83



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

5540/83

9-83-536

В.Е.Миронов, С.М.Сильнов*,
Е.А.Сотниченко*, Б.А.Шестаков

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ
НЕЙТРАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ
ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ
С МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

* Московский инженерно-физический институт

1983

Данная работа посвящена исследованию процессов взаимодействия нейтральной компоненты лазерной плазмы с металлической поверхностью. Исследование потоков образующихся вторичных частиц представляет интерес в связи с совершенствованием технологии напыления тонких пленок/1/, работы электровакуумных приборов/2/, а также важно в теоретическом плане для выяснения основных механизмов, определяющих характеристики вторичных потоков/3/. Особую важность имеет изучение процессов взаимодействия частиц с поверхностью при работе электрофизических установок.

Как известно/4/, в коллективном ускорителе ускоряемые ионы образуются в электронном кольце при ионизации инжектируемых в него атомов. Для создания потоков атомов твердотельных элементов разработан лазерный источник атомов коллективного ускорителя/5/. Один из вариантов инжекции потока атомов в электронное кольцо показан на рис.1. Из лазера /1/ лазерное излучение /2/ через оптическое окно/3/ попадает в камеру адгезатора /4/, распространяется в трубе /5/ /несущая конструкция/, фокусируется линзой /6/ на поверхность мишени /7/, изготовленной из рабочего вещества. Образовавшийся в результате взаимодействия лазерного излучения с мишенью поток атомов /8/ через коллимирующие отверстия /9/ попадает в электронное кольцо /10/. Инжекция атомов в кольцо происходит в условиях близости /несколько сантиметров/ стенок из нержавеющей стали камеры адгезатора. При этом возможно отражение части потока атомов от стенок и попадание их в кольцо, а также создание локальной области повышенных концентраций атомов рабочего вещества, особенно при большой частоте работы /50 Гц/. С целью определения возможного влияния на процесс накопления ионов в электронном кольце потоков вторичных частиц были проведены исследования их характеристик.

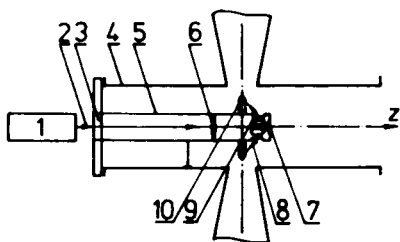


Рис.1. Вариант инжекции атомов в электронное кольцо.

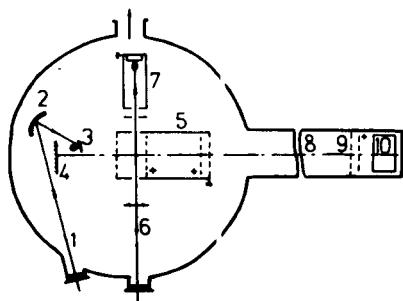


Рис.2. Схематический вид экспериментальной установки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Для исследования вторичных потоков, образующихся под действием лазерной плазмы на поверхность металлического экрана, нами была создана экспериментальная установка, схематический вид

которой представлен на рис.2. Установка позволяла, кроме заряженных частиц, детектировать нейтральные атомы путем их ионизации электронным ударом и последующего анализа образовавшихся ионов.

Лазерная плазма образовывалась при взаимодействии излучения /1/, сфокусированного зеркалом /2/, с мишенью /3/. В установке использовался лазер ЛТИПЧ-8, работающий в режиме модулированной добротности /длина волны излучения $\lambda = 1,06$ мкм, энергия в импульсе $E = 0,06$ Дж, длительность импульса $\tau = 10$ нс/. Плотность потока излучения q на мишени могла меняться при помощи светофильтров в пределах $1 \cdot 10^8 \div 1 \cdot 10^9$ Вт·см⁻². Материал мишени - свинец, алюминий, железо, медь. В указанном диапазоне значений q количество нейтральных атомов превышает 90% от общего числа частиц в потоке лазерной плазмы /5/.

Образовавшаяся лазерная плазма при своем расширении в вакуум сталкивалась с экраном /4/. Экраном служила пластина из нержавеющей стали. Специальных мер по очистке ее поверхности не принималось.

При взаимодействии лазерной плазмы с поверхностью металла возникали потоки вторичных частиц, которые попадали во время-пролетный анализатор /8/ и детектировались вторичным электронным умножителем /10/ ВЗУ-1. Нейтральные частицы предварительно ионизовались в ионизаторе /5/ при помощи потока электронов из лазерного электронного источника /7/. Лазерная плазма в электронном источнике образовывалась при взаимодействии излучения /6/ с вольфрамовой мишенью.

В дополнение к времяпролетному анализу использовался метод задерживающего потенциала, для чего перед детектором устанавливалась система сетчатых электродов /9/.

Некоторые важные абсолютные значения были получены с помощью кварцевых датчиков толщины напыленного слоя /6/, размещавшихся при необходимости в различных точках экспериментальной установки. Вакуум в системе был не хуже $2 \cdot 10^{-6}$ Тор.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Определяющий вклад в общее число вторичных частиц давали нейтральные атомы материала мишени. На рис.3 представлены энергетические распределения вторичных атомов свинца при различных плотностях потока лазерного излучения q на мишень. Видно, что с ростом q происходит увеличение энергии атомов и уширение спектра. При $q = 4 \cdot 10^8$ Вт·см⁻² энергия в максимуме распределения (E_m) составляет $E_m = 60$ эВ. Сравнение этих спектров со спектрами "первичных" атомов лазерной плазмы показывает, что они, в пределах ошибки эксперимента, совпадают. Таким образом, атомы во вторичном потоке в основном появляются при упругом отражении атомов лазерной плазмы от поверхности экрана. Коэффициент отражения

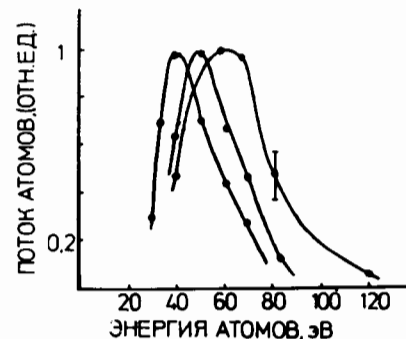
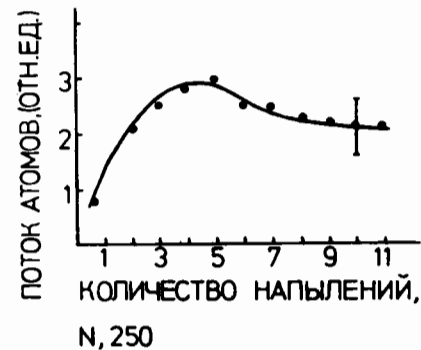


Рис.3. Энергетические распределения вторичных атомов свинца. 1 - $q = 1 \cdot 10^8$ Вт·см⁻²; 2 - $q = 2 \cdot 10^8$ Вт·см⁻²; 3 - $q = 4 \cdot 10^8$ Вт·см⁻². Распределения отнормированы на одинаковую амплитуду максимумов.

Рис.4. Зависимость потока вторичных атомов от числа сделанных на экран напылений.



/отношение количественных значений потоков отраженных и падающих атомов/ был определен как путем ионизации соответствующих потоков атомов и анализа образовавшихся ионов, так и при помощи кварцевых датчиков толщины напыленного слоя и не превышал в наших условиях для указанных материалов мишени $/30 \pm 10\%$.

При взаимодействии лазерной плазмы с поверхностью значительная часть атомов конденсируется на ней. На рис.4 представлена зависимость числа отраженных атомов свинца от числа предварительно сделанных напылений. Количество отраженных атомов в начале напыления мало, с ростом толщины пленки оно возрастает с последующим выходом на постоянное значение. Постоянное значение количества отраженных атомов достигается при напылении на поверхность экрана пленки примерно в $10 \div 20$ монослоев. От частоты срабатывания лазера, а также от времени нахождения экрана в вакууме коэффициент отражения не зависит. Преимущественный разлет вторичных частиц происходит в перпендикулярном по отношению к экрану направлении /вдоль нормали/.

Таким образом, сравнительно небольшой коэффициент отражения, резкое падение концентрации с расстоянием, а также учет угловой зависимости концентрации отраженных атомов позволяют сделать вывод об их незначительном влиянии на процесс накопления ионов в электронном кольце. Действительно, концентрация атомов свинца в потоке, инжектируемом в электронное кольцо радиусом 8 см с числом электронов $1 \cdot 10^{13}$, имеет значение $/5 \div 10 \cdot 10^9$ см⁻³ /7/. С учетом перечисленных факторов обратный поток в кольцо отражен-

ных атомов по концентрации не превышает $2,5 \div 5 \cdot 10^8$ см⁻³, т.е. меньше 5% от концентрации атомов в основном потоке. Высокие значения скоростей отраженных атомов $5 \div 7 \cdot 10^5$ см·с⁻¹ обуславливают достаточно малое /порядка сотен мкс/ время, в течение которого не ионизованные в кольце атомы сконденсируются на стенках камеры. Это время значительно меньше времени /20 мс/ между отдельными срабатываниями ускорителя при частоте работы 50 Гц. Таким образом будет исключено влияние отраженных атомов рабочего вещества на последующее срабатывание.

Наряду с нейтральной компонентой во вторичном потоке отраженных частиц наблюдались ионы с массовым числом около 270 в количестве 1/100 по отношению к ионам лазерной плазмы /свинцовая мишень/ и соответственно 1/1000 к нейтральным атомам. Максимальная энергия этих ионов не превышала 25 эВ. Все это говорит о тепловом механизме их образования и согласуется с исследованием комплексных соединений, представленных в работе/8/.

ВЫВОДЫ

1. Вторичные нейтральные атомы, дающие определяющий вклад в эмиссию, образуются при упругом рассеянии нейтральных атомов лазерной плазмы на поверхности экрана; коэффициент отражения не превышает 30%.

2. Лазерный источник нейтральных атомов заметного фона вторичных частиц, влияющего на последующие срабатывания коллективного ускорителя, не создает, влияние отраженных от стенок камеры атомов на текущий процесс накопления ионов незначительное.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахсаханян А.Д. и др. ЖТФ, 1982, т.52, вып.8, с.1584.
2. Коваленко В.Ф. Теплофизические процессы и электровакуумные приборы. "Сов.радио", М., 1975.
3. Арифов У.А. Взаимодействие атомных частиц с поверхностью твердого тела. "Наука", М., 1968.
4. Саранцев В.П., Перельштейн Э.А. Коллективное ускорение ионов электронными кольцами. Атомиздат, М., 1979.
5. Быковский Ю.А. и др. В кн.: Труды Совещания по проблемам коллективного метода ускорения. ОИЯИ, Д9-82-664, Дубна, 1982, с.27.
6. Новиков В.Г., Шестаков Б.А. ОИЯИ, Р13-82-3, Дубна, 1982.
7. Ширков Г.Д. ОИЯИ, Р9-12055, Дубна, 1978.
8. Арзуманян Г.М. и др. ОИЯИ, Р7-82-749, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 августа 1983 года.

Миронов В.Е. и др.

9-83-536

О взаимодействии нейтральной компоненты лазерной плазмы с металлической поверхностью

Приводятся результаты экспериментальных исследований взаимодействия нейтральной компоненты лазерной плазмы с металлической поверхностью. Потоки атомов Pb, Al, Fe, Cu с энергией $20 \div 100$ эВ взаимодействовали с поверхностью экрана из нержавеющей стали. Экспериментально установлено, что определяющий вклад в общее число вторичных частиц дают нейтральные атомы с энергией, равной энергии падающих на экран атомов, коэффициент отражения атомов от экрана не превышает 30%. Полученные результаты позволяют сделать вывод о незначительном влиянии отраженных атомов на процесс накопления ионов в коллективном ускорителе при работе лазерного источника атомов.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Mironov V.E. et al.

9-83-536

On Interaction of Laser Plasma Neutral Componenta with a Metal Surface

The results of experimental investigations of laser plasma neutral component interaction with a metal surface are described. Pb, Al, Fe, Cu atoms with the energy in the $20 \div 100$ eV range have interacted with the surface of stainless steel screen. It has been experimentally found that the main contribution into the total number of secondary particles give neutrals with an energy equal to energy of neutrals bombarding the metal surface; coefficient of refraction is less than 30%. The results obtained permit to draw a conclusion that the effect of refracted neutral to the process of ion accumulation in the collective accelerator during the operation of laser neutral source is not sufficient.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой