

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ МИШЕНЕЙ ДЛЯ ЛАЗЕР-ПЛАЗМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

FABRICATION AND CHECKOUT OF THIN FILM TARGETS FOR LASER-PLASMA EXPERIMENTS

С. Н. Пахомов, А. В. Савельев, Д. И. Башкин, К. В. Сафронов, Н. А. Пхайко
S. N. Pakhomov, A. V. Savelyev, D. I. Bashkin, K. V. Safronov, N. A. Pkhayko

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академика Е. И. Забабахина»

Federal nuclear center – All-Russia scientific research institute of technical physics

В докладе приведены результаты экспериментальной отработки технологических процессов изготовления тонких свободновисящих металлических и органических пленок. Эти пленки использовались в качестве мишеней в опытах по ускорению ионов на лазерной установке «Сокол-П». Проведены первые эксперименты по изготовлению мишеней из свободновисящих пленок алмазоподобного углерода.

The results of experimental works of technological processes for manufacturing of thin free-standing metal and organic films are presented. These films were used as targets for the experiments on acceleration of ions on laser facility «Sokol-P». The first experiments on manufacturing of targets from free-standing films of diamondlike carbon were made.

Введение

Лазерное ускорение заряженных частиц является динамично развивающейся областью научной деятельности. Рост мощности лазерных установок, совершенствование техники контрастирования лазерного импульса являются ключевыми составляющими прогресса в параметрах пучков ускоренных частиц. Значительные усилия предпринимаются также в совершенствовании технологий изготовления мишеней.

В 2015 году на установке «Сокол-П» проводились эксперименты по лазерному ускорению тяжелых многозарядных ионов из свободновисящих фольг, изготовленных из тугоплавких металлов: титана, скандия, циркония и тантала. Также были выполнены эксперименты со сверхтонкими мишенями из алмазоподобного углерода (АПУ). Настоящий доклад посвящен описанию технологий изготовления указанных мишеней.

Мишени из свободновисящих металлических фольг тугоплавких металлов

Для эффективного ускорения ионов материала мишени, необходимо удалить с её поверхности

водородосодержащие загрязнения в виде воды, вакуумного масла и т. п. Одним из наиболее эффективных методов очистки поверхности является нагрев до $\sim 1000^\circ\text{C}$. В ходе экспериментов нагрев мишени осуществлялся излучением непрерывного лазера. Для этого потребовалось разработать технологию изготовления мишеней из фольг тугоплавких металлов, экспериментальная отработка режимов магнетронного напыления тонких слоев этих металлов, методов их снятия с подложки и бесклеевого крепления на оправку мишени.

Процесс изготовления мишеней включает в себя следующие технологические операции:

1. Изготовление оправки;

2. Изготовление пленки:

– нанесение подслоя поваренной соли (NaCl) толщиной ~ 100 нм, методом термического испарения, на стеклянную подложку

– формирование пленки тугоплавкого металла (Ti, Sc, Zr, Ta), толщиной ~ 1000 нм, методом магнетронного напыления;

3. Снятие металлической пленки со стеклянной подложки в дистиллированной воде и закрепление ее на оправке мишени.

В качестве подложки, для изготовления мишеней, использовался диск из стекла К-8 диаметром 25 мм и толщиной 3 мм. Буферный слой NaCl

напылялся в вакууме при остаточном давлении менее 10^{-5} торр резистивным способом.

Формирование пленок тугоплавких металлов проводилось на установке вакуумного магнетронного распыления. В качестве мишени магнетрона использовались диски из Ti, Sc, Zr и Ta диаметром 100 мм. Для обеспечения равномерности наносимого покрытия подложка располагалась непосредственно над зоной распыления мишени на расстоянии 125 мм. В качестве рабочего газа использовался аргон с давлением $8 \cdot 10^{-4}$ торр. Нанесение металлической пленки проводилось через маску с диаметром отверстий 3 мм.

После извлечения из вакуумной камеры подложка с напыленной на подслои соли металлической пленкой осторожно погружалась в дистиллированную воду таким образом, чтобы после растворения соли пленка отделилась от поверхности стекла и всплыла на поверхность воды. Затем пленка извлекалась с поверхности воды, просушивалась и зажималась между двумя оправками из нержавеющей стали, которые соединялись с помощью точечной сварки. Оправки представляют собой пластины из нержавеющей стали, размером 10×10 мм, толщиной 0,2 мм с отверстием диаметром 2 мм. Полученная конструкция крепилась на специальном держателе, для установки в вакуум-

ную камеру лазерной установки «Сокол-П» (см. рис. 1).

Контроль толщины изготовленных мишеней проводился по образцу-свидетелю, устанавливаемому в процессе напыления в непосредственной близости от рабочей подложки. В качестве свидетеля использовалась стеклянная пластина диаметром 10 мм, толщиной 1 мм, покрытая слоем алюминия толщиной ~ 100 нм. Перед свидетелем устанавливалась маска из металлической фольги. Измерение высоты сформированной на свидетеле ступеньки проводилось профилометром FRT MicroSpy Profile с вертикальным разрешением 6 нм. Измерения проводились в 10 точках с последующим усреднением результатов. В табл. 1 приведены результаты измерения толщин изготовленной партии свободновисящих металлических пленок из титана (Ti), скандия (Sc), циркония (Zr), тантала (Ta).

Мишени из свободновисящих алмазоподобных плёнок

Методом, аналогичным описанному выше была изготовлена опытная партия свободновисящих пленок из алмазоподобного углерода толщиной от

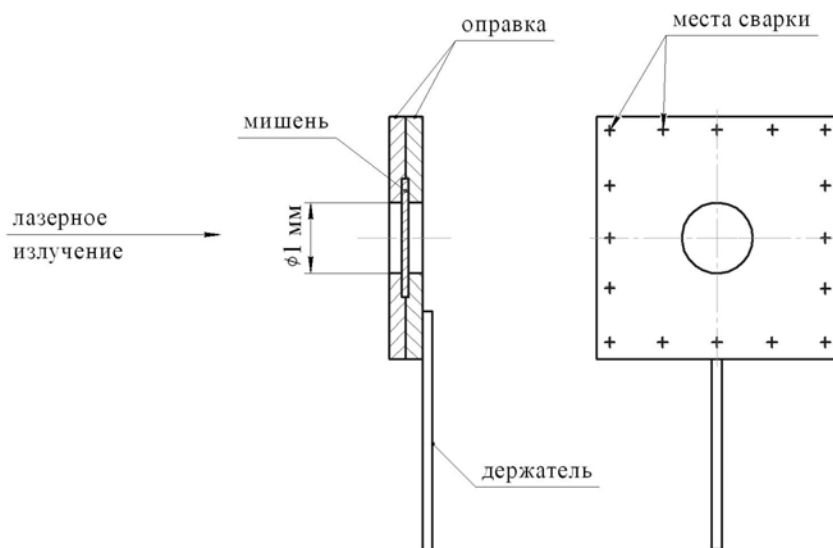


Рис. 1. Конструкция мишени (не в масштабе)

Таблица 1

Параметры свободновисящих металлических фольг

Материал	Тантал	Титан	Цирконий	Скандий
Толщина, мкм	$1,00 \pm 0,02$	$1,35 \pm 0,02$	$1,24 \pm 0,02$	$1,55 \pm 0,02$

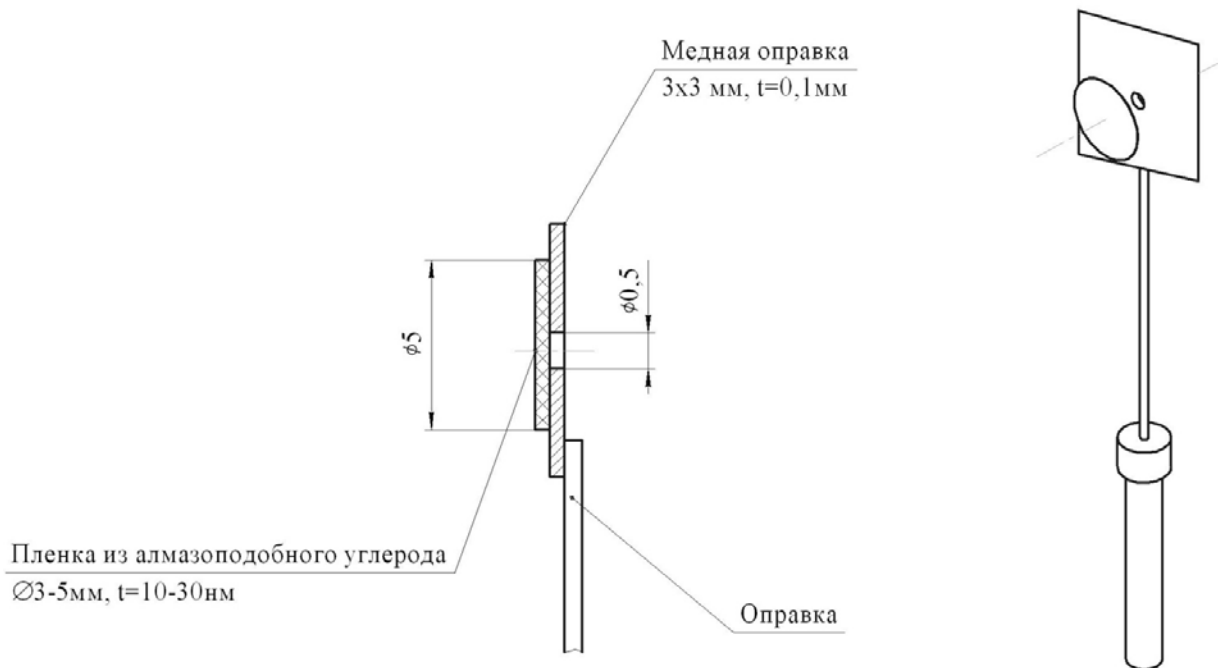


Рис. 2. Конструкция лазерной мишени (не в масштабе)

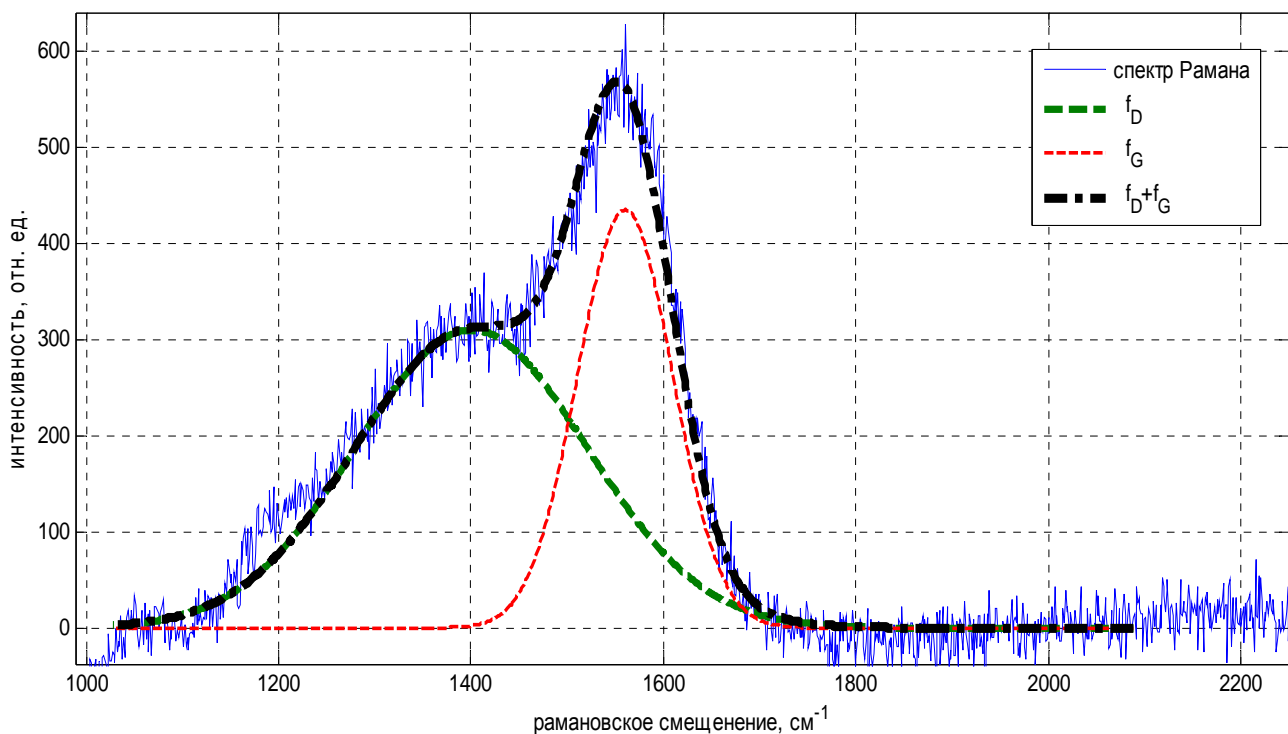


Рис. 3. Спектр Рамана пленки из алмазоподобного углерода, а также его аппроксимация гауссовыми функциями G- и D-пигов

20 до 40 нм. Для получения пленки углерода применялось магнетронное распыление графитовой мишени диаметром 100 мм и толщиной 5 мм. Подложки находились в металлическом подложкодержателе. Установленные в камеру рабочая подложка и образец свидетель подогревались до

300 °С, на подложкодержатель подавалось отрицательное напряжение смещения в диапазоне 0...500 В. Рабочее давление аргона в камере $2 \cdot 10^{-3}$ торр. После напыления рабочий газ откачивался из камеры, а полученные пленки подвергались термическому отжигу при температуре

600 °С в течение 1 часа для того, чтобы снизить внутренние механические напряжения.

Подложки с пленками осторожно погружались в дистиллированную воду, после растворения буферного слоя соли пленки отделялись и всплывали на поверхность. После этого они вылавливались на держатели мишеней с отверстием диаметром 0,5 мм. Конструкция мишени представлена на рис. 2.

Измерения толщины углеродной пленки, шероховатости стеклянной подложки, подслоя соли выполнялись на сканирующем зондовом микроскопе NTEGRA PRIMA полуконтактным методом. Для этого использовались зондовые датчики NSG01, с соотношением высоты к основанию ~4:1 и радиусом закругления 10 нм. При сканировании устанавливались следующие параметры: частота сканирования 0,05 Гц, область сканирования 100×10 мкм, из которой затем выбиралась область измерения 80×4 мкм. Постобработка измерений проводилась в программе Image Analysis P9 по стандарту ISO 25178. Погрешность измерения составляет ±5 %. Толщина углеродной пленки составила 21,6±1,0 нм.

Для определения структуры электронных связей в материале пленок были выполнены измерения спектров Рамановского рассеяния нескольких образцов. Измерения производились посредством Рамановского спектрометра INVIA BASIS. Исследование структурного состава полученных пленок показало, что массовая доля углерода с алмазоподобными связями составляет 60 % ... 75 %. Один из полученных спектров приведен на рис. 3.

На спектрах наблюдались два характерных пика: *G*-пик в окрестности 1580–1600 см⁻¹ и *D*-пик в окрестности 1350 см⁻¹. Первый из них соответствует возбуждению *sp*² (графитоподобных) электронных связей, второй – *sp*³ (алмазоподобных) связей. Эти пики достаточно хорошо аппроксимируются гауссовыми функциями *f_g* и *f_d*. Отношение площадей под графиками функций соответствует отношению количества *sp*² и *sp*³ связей в исследуемом образце. Для спектра, изображенного на рис. 3, доля алмазоподобных связей, определенная данным методом, составляет 70,3 %.

Заключение

Проведена экспериментальная обработка технологических процессов изготовления тонких свободновисящих фольг из тугоплавких металлов толщиной ~1 мкм с бесклеевым креплением на подложкодержатель. Эти фольги использованы в качестве лазерных мишеней в опытах по генерации пучков тяжелых многозарядных ионов. Бесклеевая конструкция мишени позволила осуществить их предварительный прогрев до 1000 °С и в результате, удалить водородсодержащие загрязнения с поверхности мишени, препятствовавшие ускорению тяжелых ионов.

Изготовлена опытная партия свободновисящих пленок алмазоподобного углерода методом магнетронного распыления. Были получены образцы толщиной от 20 до 40 нм. Доля алмазоподобных связей в полученных образцах составила 60–75 %.