

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛА ОБРАЗЦОВ НА АБЛЯЦИЮ, ФОРМИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ФАКЕЛА И СПЕКТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

В.И. Журавлева

Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68, 220072 Минск, Беларусь,  
zhuravleva@imaph.bas-net.by

Процессы поглощения лазерного излучения пористыми материалами в значительной степени зависят от качества поверхности, размеров пор, структурных неоднородностей /1/, что влияет на интенсивность спектральных линий и приводит к ухудшению метрологических характеристик анализа. В /2/ показано, что при воздействии сфокусированного лазерного излучения с плотностью мощности  $1,7 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> увеличение степени пористости материалов приводит к многократному снижению эффективности использования вещества. Для более детального изучения природы влияния структурных неоднородностей на спектры лазерной плазмы в настоящей работе проведены исследования влияния пористости материала образцов на абляцию, формирование лазерного факела и спектры излучения. Установлено влияние степени пористости материала на абляцию и интенсивность спектральных линий в спектрах эрозионной плазмы, полученной при лазерном воздействии на пористые материалы в различных условиях фокусировки (интервал плотности мощности  $2,5 \cdot 10^9$  –  $1,7 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup>).

Для получения экспериментальных данных использован частотный двухимпульсный Nd:YAG лазер, дифракционный спектрограф ДФС 458 (обратная линейная дисперсия 0,6 нм/мм), с блоком регистрации на базе ПЗС-линеек. Параметры лазерного излучения при регистрации спектров: длина волны 1,06 мкм, длительность и энергия одиночного импульса 10 нс и 0,04-0,05 Дж, соответственно, временной интервал между импульсами 8 мкс, частота 10 Гц. Плотность мощности изменялась от  $1,7 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> при резкой фокусировке лазерного излучения на поверхность образца до  $2,5 \cdot 10^9$  Вт/см<sup>2</sup> при фокусировке внутрь образца.

Диаметр светового пятна на образце изменялся от 50 мкм при резкой фокусировке до 500 мкм при расфокусировке. Для передачи излучения лазерного факела в спектрограф использовался волоконно-оптический кварцевый световод (с диаметром 600 мкм), расположенный перпендикулярно оси лазерного факела. Каждый спектр формировался при воздействии 20 сдвоенных импульсов в одну точку поверхности образца.

Для исследований использовались металлические прессованные порошки с известным составом и образцы технической керамики (на основе  $\text{SiO}_2$ , с примесями Al, Ti –0,02-0,03 %) с пористостью 0, 30, 40 и 50 %, диаметром пор 0, 20, 50 и 100 мкм, соответственно. Средняя относительная погрешность измерения интенсивности линий около 6 %.

Для снижения влияния пористости материала на интенсивность спектральных линий варьировались условия лазерного воздействия на образец с плотностью мощности лазерного излучения в интервале  $1,5 \cdot 10^9 - 1,7 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup>. С изменением условий лазерного воздействия: при резкой фокусировке лазерного излучения на поверхность, фокусировке внутрь образца, ослаблении воздействующего излучения с помощью светофильтра (пропускание 60 %), увеличении временного интервала между одиночными импульсами до 16 мкс, сканировании образца, характер зависимости интенсивности спектральных линий основы-кремния от пористости керамических образцов практически не изменялся, т.е. влияние структурных характеристик материала на спектры сохранялось.

Для проверки влияния размеров пор материала на интенсивность спектральных линий элементов были получены покадровые развертки интенсивности линий в процессе формирования лунки при лазерном воздействии на поверхность керамических образцов, различающихся диаметром пор: 0, 20, 50, 100 мкм. На рис. 1 показано изменение интенсивности линий основы – кремния Si I 250,7 нм (4,95 эВ), Si III 254,2 нм (15,14 эВ) в спектрах, полученных при воздействии сфокусированного лазерного излучения на образцы в процессе формирования лунки, свидетельствующее о влиянии размеров пор на интенсивность линий. (Данные получены без внесения изменений в систему регистрации за счет установки собирающей линзы перед световодом). Из рис. 1 следует, что в процессе формирования лунки с ростом диаметра пор в образцах, особенно, когда диаметр пор становится соизмеримым с диаметром светового пятна, в спектрах наблюдается более резкое снижение интенсивности линий кремния (в 2-3 раза). Особенно это заметно на изменении интенсивности спектральной линии Si 254,2 нм с высокой энергией возбуждения. Исходя из полученных данных, для анализа могут быть рекомендованы только атомные линии с невысокой энергией возбуждения, наименее подверженные влиянию структуры материала, что подтверждает результаты работы /3 /.

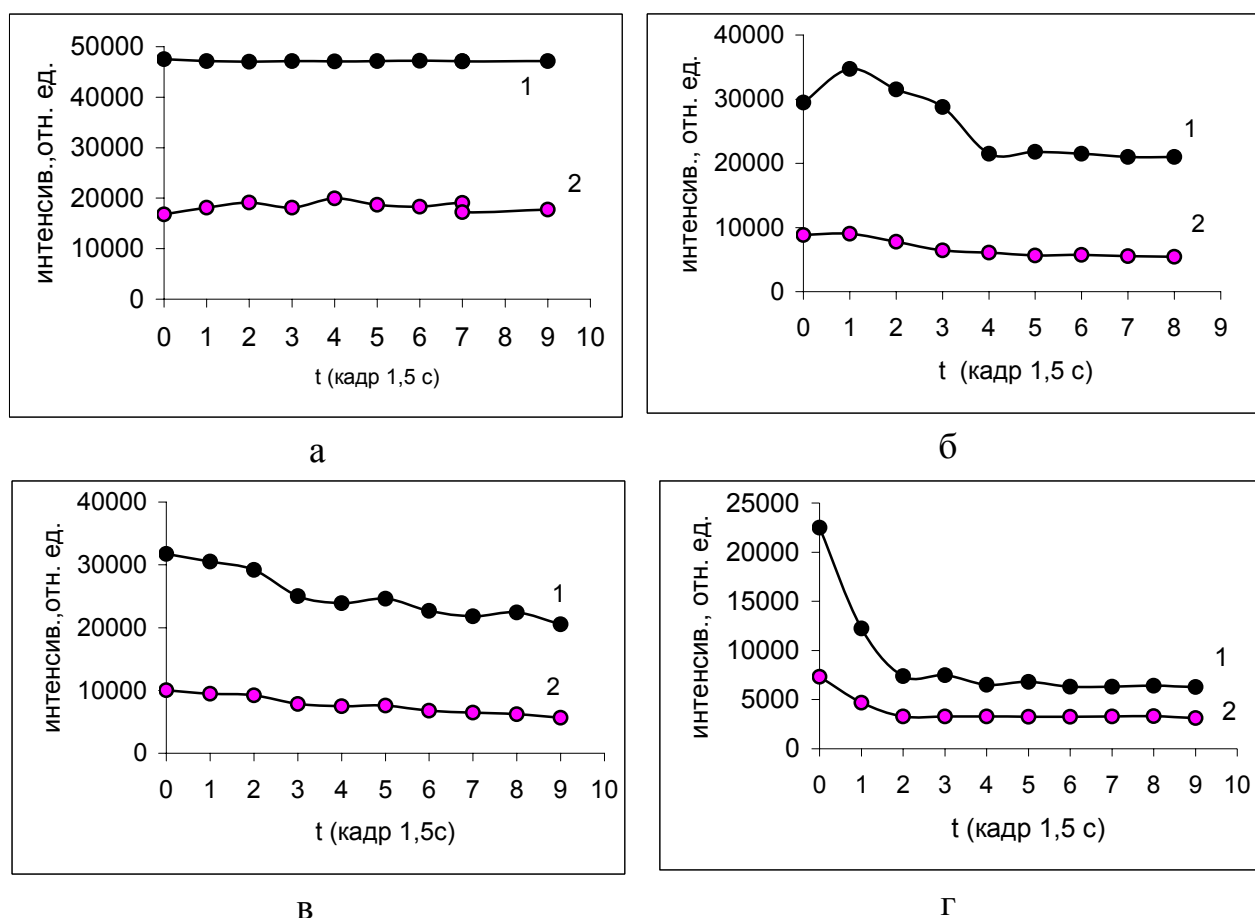


Рис. 1 Изменение интенсивности линий Si 250,7 нм (1), Si 254,2 нм (2) в спектрах в процессе формирования лунки при воздействии сфокусированного лазерного излучения на керамические образцы, различающиеся диаметром пор: 0 (а), 20 (б), 50 (в), 100 мкм (г).

На рис. 2 показана зависимость интенсивности линий основы Si I 251,6 нм, Si I 250,7 нм, Si I 252,4 нм от степени пористости образцов в спектрах, полученных при двух способах фокусировки лазерного излучения: резкой фокусировке на поверхность образцов (а) и фокусировке внутрь образца (б). Рисунок 2 свидетельствует о том, что при лазерном воздействии на пористую керамику в интервале плотности мощности  $2,5 \cdot 10^9 - 1,7 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> наличие пористости способствует росту интенсивности линий основы-кремния. Интенсивность указанных спектральных линий кремния с ростом степени пористости от 0 до 50 % повышается в среднем в 1,5- 2 раза при двух способах фокусировки. Данные получены при внесении изменений в систему регистрации за счет использования дополнительной собирающей линзы, расположенной перед световодом (при этом излучение от разных зон лазерного факела

интегрируется). В спектрах металлических образцов с пористостью от 20 до 42 % зависимости интенсивности линий от степени пористости выражены слабее.

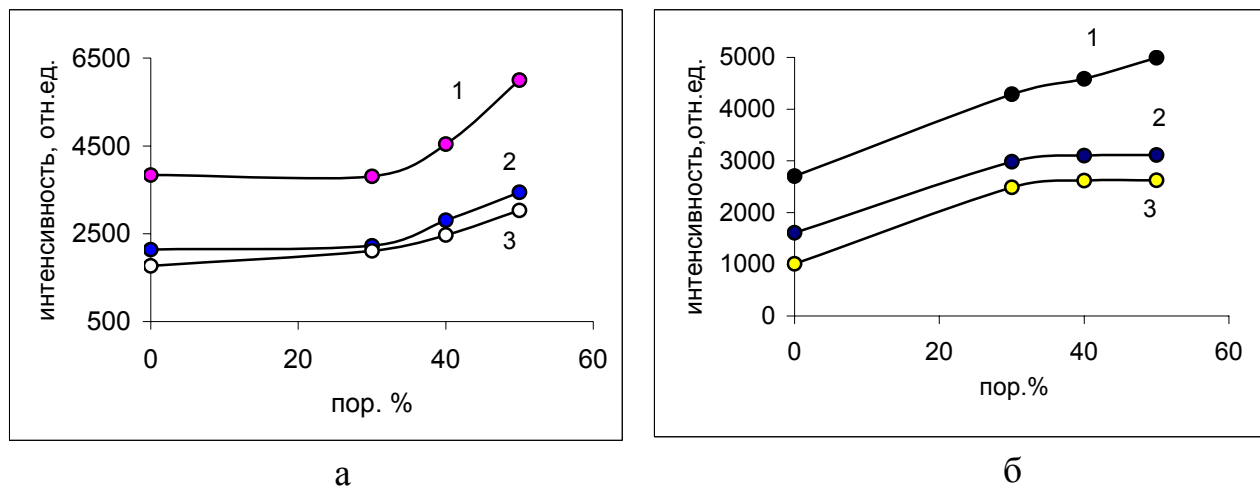


Рис. 2 Зависимость интенсивности линий Si I 251,6 нм, Si I 250,7 нм, Si I 252,4 нм основы-кремния от степени пористости в образцах керамики, полученная при резкой фокусировке лазерного излучения на поверхность (а) и фокусировке внутрь образца (б).

Установлено, что при воздействии сфокусированного лазерного излучения сдвоенных импульсов с плотностью мощности  $2,5 \cdot 10^9 - 1,7 \cdot 10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> на образцы керамики с пористостью от 0 до 50 % интенсивность спектральных линий основы-кремния возрастает в 1,5-2 раза в спектрах излучения эрозионных факелов за счет увеличения удельной поверхности материала. Результаты представляют собой основу для спектроскопического метода определения степени пористости материалов.

#### Список литературы

1. **Воробьев В.С.** УФН, **163** (12), (1993) 51-83.
2. **Zhuravleva V.I.** Contributed papers of the VII International Conference Plasma Physics and Plasma Technology, Minsk, Belarus, September 28-October 2, 2012. (в печати)
3. **Zhuravleva V.I., Ershov-Pavlov E.A., Boiko A.A., Poddenezhny E.N.** International Conference "Optical Techniques and Nano-Tools for Material and Life Sciences", Contributed papers. Minsk. **1** (2010) 78-81.