

**Спектральные исследования влияния электронных состояний ионов алюминия Al III на процессы образования AlO и AlN в плазме при воздействии лазерных импульсов на алюминиевый сплав Д16Т в атмосфере воздуха**

Ходор Баззал<sup>1</sup>, Е.С. Воропай<sup>1</sup>, А.П. Зажогин<sup>1</sup>, М.П. Патапович<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет, Минск,

<sup>2</sup> Белорусская государственная академия связи, Минск

E-mail: zajogin\_an@mail.ru

В настоящее время материалами, перспективными для применения в микроэлектронике и оптоэлектронике в качестве диэлектрических теплоотводящих подложек, являются оксиды и нитриды алюминия и керамические материалы на их основе. В наших работах было показано, что при использовании сдвоенных лазерных импульсов с интервалом между импульсами 10–12 мкс можно одновременно получать молекулярные наноконплексы AlN и AlO и проводить спектральный контроль их образования [1].

Целью настоящей работы является исследования влияния электронных состояний ионов алюминия Al III в термохимических реакциях на процессы образования субоксидов и нитридов алюминия при воздействии серий сдвоенных лазерных импульсов на алюминиевую мишень.

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. В качестве источника возбуждения плазмы в спектрометре используется двухимпульсный неодимовый лазер с регулируемой энергией и интервалом между импульсами (модель LS2131 DM).

Как известно, наиболее важную роль в образовании нанокластеров в составе лазерной плазмы играют процессы ионизации атомов и рекомбинации ионов. Процессы ионизации определяются как плотностью потока лазерного излучения и потенциалом ионизации атомов, составляющих лазерную мишень, так и буферного газа, в нашем случае, воздуха.

Динамика изменения атомного и ионного состава приповерхностной плазмы и образования радикалов AlO и AlN в приповерхностной лазерной плазме исследована при воздействии серий сдвоенных лазерных импульсов на пластинку алюминиевого сплава Д16Т толщиной 1 мм от энергии их (35–55 мДж). Количество импульсов в серии – 40 импульсов.

Наиболее интенсивными электронно-колебательными полосами в эмиссионных спектрах AlO являются полосы с длинами волн 484,21 нм, а AlN соответственно 507,8 нм.

В образовании нитридов и субоксидов алюминия существенную роль играет совместное присутствие в плазме ионов алюминия, кислорода и

азота. Поэтому нами изучена зависимость образования ионов N II, O II, Al II и Al III от энергии импульсов и расфокусировки.

Полученный результат может быть объяснён тем, что наибольшее влияние в данном случае оказывает плотность энергии в месте приложения излучения к поверхности, а также форма кратера (при расфокусировке вглубь пластины). Следует отметить, что с расфокусировкой интенсивности ионных линий алюминия уменьшаются значительно медленнее, чем интенсивности нитрида и оксида алюминия, что говорит о большей зависимости образования молекулярных соединений в плазме от плотности мощности и геометрии кратера.

В спектре Al III в области от 390 нм до 540 нм наблюдается три интенсивных линии [2]. Две линии Al III (451,25 нм) и Al III (452,92 нм) соответствуют переходам электронов с уровней 4d на 4p. Две очень близко расположенные линии Al III (447,989 нм и 447,997 нм) в спектрах не разрешаются и соответствует переходу электронов с уровней 5g на 4f. Для оценки влияния электронных состояний иона алюминия на реакционную способность с газовой средой в лазерном факеле на рисунке 2 приведены отношения интенсивностей линий Al III для энергий соответствующих максимуму интенсивности полос AlO и AlN.

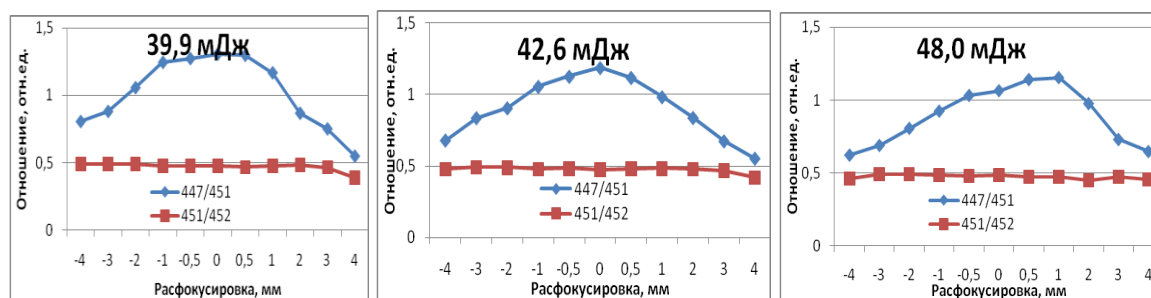


Рис. 1. Зависимость отношения интенсивности линий Al III (447,99 нм) к Al III (451,25 нм) и линий Al III (451,25 нм) к Al III (452,9 нм) в спектрах от энергии импульсов параметров расфокусировки

При сравнении графиков видны как качественные, так и количественные отличия участия двух различных электронных состояний в термохимических реакциях. Видно, что состояния 4d более реакционно способны, чем состояния 5g. Особенно это заметно для энергии импульсов 40 мДж, отвечающих максимуму интенсивности полос для AlO и AlN. С увеличением энергии импульсов изменяется как форма отношения, так и сами величины, что хорошо коррелирует с соответствующим уменьшением интенсивности полос AlO и AlN.

1. Баззал Х., Лычковский В.В., Зажогин А.П. // Ж. Белгосуниверситета, физика. 2018. № 3. С. 81–90.
2. Стриганов А.Р., Свенцицкий Н.С. Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов. М.: Атомиздат. 1966. 900 с.