

ЛАЗЕРНЫЙ НАГРЕВ ЧАСТИЦ ТУГОПЛАВКИХ ОКСИДОВ

Хорохорин Д. М.^{1,2}, Еремеев Р. С.^{1,2}

Научный руководитель: Мышкин В.Ф.¹, д.ф.-м.н., профессор

¹ ФГУП «Горно-химический комбинат», 660049, г. Железногорск, ул. Ленина, 53

² Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: mitek2407@mail.ru

Ядерные реакторы четвертого поколения используют МОХ-топливо, содержащее Pu. Частицы МОХ-топлива могут попадать на различную глубину в сварочный шов заглушки твэла. При этом формируется большое радиоактивное загрязнение, которые невозможно удалить путем протирки поверхности тканевым чистящим элементом.

Цель – исследование процесса лазерного нагрева одиночных полупроводниковых частиц оксидов лантаноидов и актиноидов.

При лазерном нагреве металлической мишени, внедренные в неё микрочастицы прогреваются равномерно из-за малости их размеров. Для миллисекундных лазерных импульсов необходимо учесть тепловой поток между металлом и внедренной в него микрочастицей, ограничивающий скорость нагрева микрочастиц. Тепловых потерь можно избежать при использовании лазерных импульсов наносекундной длительности.

Мнимая часть комплексного показателя преломления вещества определяет эффективность поглощения слабого лазерного излучения. Поэтому металлы и оксиды металлов, имеющие разные показатели преломления, будут разное количество от падающего импульса излучения. Известно, что UO_2 , PuO_2 и ThO_2 , CeO_2 являются полупроводниками, которые имеют малый коэффициент поглощения излучения от видимой до средней ИК области спектра. Следует ожидать, что указанные оксиды будут слабо поглощать излучение серийно выпускаемых лазеров, генерирующих излучение 1,06 мкм. Однако известно, что мощное лазерное излучение первоначально поглощается дефектами внутри кристалла. По мере прогрева кристалла вокруг дефектов поглощение излучения в области дефекта лавинообразно возрастает. Поэтому возможно испарение полупроводниковых частиц с помощью излучения 1,06 мкм.

В докладе приводятся результаты моделирования нагрева одиночных дисперсных частиц в поле лазерного излучения CO_2 -лазеров (10,6 мкм, длительность 50 нс). Теплофизические параметры UO_2 , PuO_2 и ThO_2 , CeO_2 , приводимые в различных статьях, значительно различаются. Обобщая литературные данные можно утверждать, что оксиды CeO_2 , ThO_2 , PuO_2 , UO_2 имеют близкие теплофизические и оптические свойства. PuO_2 имеет минимальную температуру плавления из рассматриваемых оксидов. Температура испарения стали составляет 2860°C, а PuO_2 - 2800°C. Остальные рассматриваемые оксиды испаряются при более высоких температурах. Следует учитывать, что излучение CO_2 лазера нагревает металл на глубину до 3,5 мкм.

Для моделирования использовано выражение для нагрева микрочастиц в лазерном пятне

$$\Delta T_d = \frac{3 \varepsilon_d I_0 t}{4 C_d \rho_d \pi r_d} \quad (1)$$

Здесь ε - коэффициент поглощения, I - интенсивность излучения, t – время действия лазерного импульса, r_d - радиус частицы, r_f - радиус фокального пятна лазера.

Рассчитывали изменение температуры за 1 нс. Текущую температуры вычисляли ступенчато от комнатной температуры по формуле (1). На последующих этапах вычисления проводили от предыдущей температуры. Для каждого диапазона температур теплоемкость задавали в соответствии с усредненными значениями по данным нескольких авторов.

Расчетные данные нагрева микрочастиц диаметром 0,5 мкм в поле лазерного излучения с интенсивностью 25 МВт/см² показывают следующее. Стальная микрочастица за время импульса CO_2 -лазера (50 нс) не прогревается до температуры кипения. CeO_2 за время 50 нс также не прогревается до температуры кипения. Моделирование показывает, что микрочастицы UO_2 и PuO_2 практически одновременно нагреваются до точки кипения за время 44 нс. Поэтому имеются благоприятные условия для лазерной дезактивации сварного шва твэла от частично выступающих микрочастиц МОХ-топлива с помощью излучения CO_2 -лазера. При этом также возможно взрывное испарение микрочастиц, полностью скрытых в поверхностный слой мишени глубиной до 3,5 мкм.