

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АБЛЯЦИОННОЙ ПЛАЗМЫ И ЕЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Доц. Кульментьева О.П., ст.н.с. Кульментьев А.И.

В настоящее время термин абляция обозначает совокупность сложных физико-химических процессов, результатом которых является удаление вещества, стимулированного пучками высокоэнергетических частиц. При этом различают лазерную абляцию (ЛА), абляцию под действием электронных и ионных пучков.

Абляция используется в машиностроении, приборостроении, микроэлектронике, оптоэлектронике, при производстве компьютеров и др. Особенно перспективно использование ЛА при микрообработке хрупких твердых материалов. Этот метод обработки применяется для получения сложнопрофильных изделий из хрупких материалов, например, микрошестеренок из сапфировых пластин толщиной 0,25 мм, различных деталей из конструкционной керамики, высококачественных катетеров из нержавеющей стали, тантала, биополимеров, которые используются для шунтирования кровеносных сосудов.

Еще одним современным направлением является получение тонких пленок в результате осаждения на подложки абляционной плазмы. Так, методом ИВЕ (Ion Beam Evaporation) производят тонкие пленки со специальными свойствами, включая многослойные пленки из высокотемпературных сверхпроводящих материалов, получают толстые пленки, в том числе из тугоплавких металлов, аморфные и кристаллические слои с заданной структурой, напыляют керамические материалы на металлы, синтезируют наноразмерные ультрадисперсные порошки и алмазоподобные покрытия.

Для примера на рис.1 приведены изображения керамики из карбида кремния и германиевая острейшая наноструктура

после воздействия на них пучками высокоэнергетических частиц. Видно, что в результате воздействия пучка на поверхности получают рельефные структуры, формирование которых зависит от характера взаимодействия пучка частиц с мишенью и последующей абляции материала.

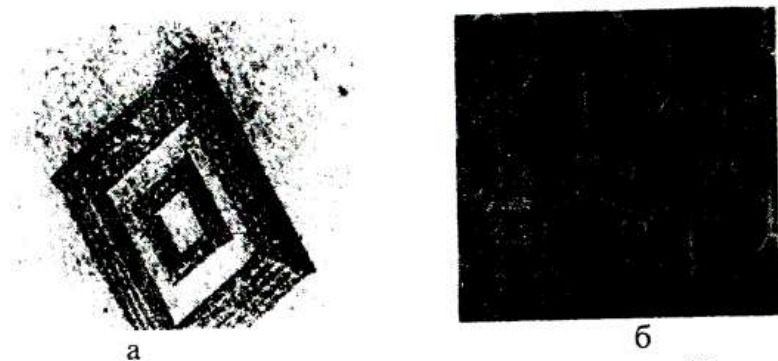


Рис.1. РЭМ-изображения SiC керамики (а) и кремния (б) после воздействия на них пучками высокоэнергетических частиц

Отличительными чертами абляции с теоретической точки зрения являются то, что она непосредственно связана с поглощением энергии в материале; и ее результатом является формирование парогазового облака, состоящего из продуктов абляции. Поэтому для теоретического исследования необходимо моделировать как процесс поглощения энергии излучения мишенью, так и процесс динамической эволюции образующегося в результате парогазового облака. Последний включает как расширение и перемещение этого облака, так и нуклеацию составляющих его частиц.

Исследование динамики разлета пара многокомпонентного облака представляет собой сложную задачу. В работе рассматривался процесс лазерного испарения в рамках тепловой модели. При этом предполагалось, что время формирования начального абляционного облака намного меньше времени его последующего расширения. Это предположение основано на данных эксперимента. Кроме того, счита-

лось, что тяжелые частицы не оказывают влияния на динамику расширения пара легких частиц. Для приближенного решения рассматриваемой краевой задачи использовался метод моментов. В качестве необходимых функций, зависящих от времени, были выбраны температура поверхности $T_s(t)$ и пространственный масштаб распределения энтальпии $l(t)$. Они дают основную информацию о распределении энтальпии в поверхностном слое твердого тела, которое и определяет динамику процесса тепловой абляции.

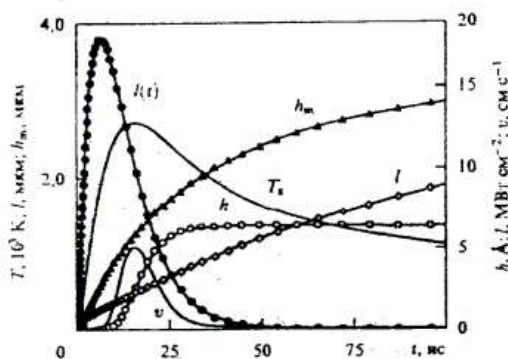


Рис.2. Теоретические зависимости от времени, полученные для нагрева и абляции мишени из YBCO. Показаны глубина прогрева l , температура поверхности T_s , положение фронта плавления h_m , скорость абляции v , толщина аблированного материала h .

На рис.2 приведены результаты расчетов кинетики абляции мишени из YBCO под действием излучения Nd:АИГ лазера для характерных режимов его работы. Решения уравнений газовой динамики с помощью приближенных методов позволяют удовлетворительно описать некоторые характеристики такого пара и объяснить качественные эффекты, в частности эффекты нуклеации частиц в расширяющемся облаке и обострение распределения тяжелых частиц (тяжелый пар распространяется внутри легкого в виде сжатого жгута). Эффект обострения отчетливо наблюдается на экспериментальных фотографиях разлета многокомпонентного парового облака.

Анализ полученных результатов по расчету динамики лазерного нагрева и абляции показал, что они удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.