

РОСТ ТРЕХМЕРНЫХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ТЛЕЮЩЕМ РАЗРЯДЕ

Бобков В.В.,
Старовойтов Р.И.

Харьковский госуниверситет. Харьков
310108 пр. Курчатова 31.
Национальный физико-технологический
центр. Харьков 310100
ул. Новгородская 1.

В работе представлены результаты исследования взаимодействия плазмы тлеющего разряда аргона с поверхностью метал-

лического катода. Определены условия развития новообразований и предложен механизм их формирования.

Процессы зарождения и роста новообразований при распылении поверхности твердого тела потоками заряженных и нейтральных атомарных частиц представляют особый интерес. Модифицированные таким образом поверхности приобретают свойства, которые могут быть использованы в современных технологиях [1]. Как один из видов новообразований можно выделить вискеры. Эти новообразования подробно изучены в работах [1,2]. Для зарождения и роста вискерообразования на основании [2] необходимо наличие тугоплавкой примеси на поверхности. При этом ее минимальная концентрация должна составлять не менее 0,2%. Эксперименты проведенные авторами работы [3], показали, что вискеры могут формироваться под действием ионной бомбардировки на поверхности чистых материалов. Предложенная ими дислокационная модель объясняет рост вискерообразования при температурах $0,3-0,4 T$ плавления. Материал для роста вискерообразования поставляется за счет диффузионных процессов. Данный механизм также имеет место в том случае, если ионная бомбардировка создает в приповерхностном слое напряжения, превосходящие величину предела упругости.

В настоящей работе представлены результаты по формированию новообразований на металлических мишенях в плазме тлеющего разряда аргона. Рассматривается случай, когда катоды изготовлены из чистого алюминия и алюминия, легированного магнием. При определенных режимах диодного разряда, когда температура катода повышалась выше $+200^\circ\text{C}$, на поверхности установлено образование вискерообразования. В том случае, когда в процессе эксперимента температура катода поддерживалась ниже комнатной, определены также как и в работе [4] режимы разряда в аргоне, при которых на поверхности зарегистрирован рост трубок.

В тоже время изменение параметров разряда позволило также установить режимы, при которых на катоде, наблюдается зарождение и рост новообразований в виде тонкопленочных листовых структур перпендикулярно к поверхности. Представленные в работе результаты получены при напряжении 2,5 кВ и временах обработки мишени более 3-х часов, плотность тока при этом составляла $2,7-3 \text{ мкА/мм}^2$. Перед зажиганием разряда катод охлаждался до 110 К, интенсивное охлаждение катода происходило в течении всего процесса травления. Температура катода контролировалась термопарой.

В серии рассматриваемых экспериментов были приняты меры на существенное уменьшение возникновения в процессе тлеющего разряда катодных пятен, приводящих к локальному расплавлению участков катода и образованию на его поверхности сферических образований. В результате этого при горении тлеющего разряда на поверхности катода на-

блюдается развитие в основном таких элементов рельефа как ямки травления, конусы, гребни. Геометрические размеры последних много больше на образце из алюминия, легированного магнием, чем на чистом алюминии при одинаковых условиях травления. В дальнейшем на их основе происходит рост тонкопленочных листовых новообразований. Некоторые из них в процессе роста приобретают сложную пространственную геометрию в виде свитка (см рис.1).

Их линейные размеры достигают 100 мкм. Данные новообразования развиваются на вершинах таких первоначально образующихся элементов рельефа как гребни. Высота гребней, ставших для них основаниями, составляет 5 мкм и более. Тонкопленочные новообразования наблюдаются в основном на образце, изготовленном из легированного алюминия, так как на поверхности чистого алюминия в тлеющем разряде в результате распыления развивается рельеф, отдельные элементы которого не выступают над поверхностью выше 1 мкм.

Диффузионный механизм роста новообразований, описанный в работе [3], в нашем случае не применим, так как зарождение и рост новообразований происходили при температурах, при которых коэффициенты диффузии пренебрежимо малы с точки зрения роста новообразований. В то же время следует обратить внимание на то, что вискеры растут и при бомбардировке поверхности пучком ионов, а трубчатые и листовые новообразования обнаружены только в тлеющем диодном разряде на поверхности катода.



х 1050

Рис.2. Тонкопленочное новообразование. Отчетливо виден гребень, служащий основанием для новообразования.



х 800

Рис.1. Тонкопленочное новообразование сложной геометрической формы.

Механизм формирования новообразований можно представить следующим образом. На начальном этапе происходит процесс формирования зародышей. Если реализовать режим разряда, при котором возникают катодные пятна второго рода, то это может привести к возникновению на поверхности полусфер из расплавленного материала катода. Данные полусферы могут оказаться основаниями, на которых растут трубки. Второй вид зародышей представляют собой гребни, образующиеся в силу неоднородности травления мишени. Гребни служат основаниями для роста тонкопленочных листовых образований (см. рис2).

В обоих случаях отдельные элементы рельефа поверхности могут стать зародышами для новообразований, если их высота превышает характерный размер, позволяющий создавать необходимое возмущение электрического поля в прикатодной области разряда. Наряду со вторичной эмиссией электронов возникает автоэлектронная эмиссия с вершин данных зародышей. Выбиваемые из катода атомы ионизируются электронами и, имея низкую начальную кинетическую

энергию, подвергаются воздействию возмущенного электрического поля. Это приводит к изменению траекторий образовавшихся низкоэнергетичных ионов. На положительные ионы действует сила, направленная в сторону увеличения градиента электрического поля. Под действием этой силы ионы приобретают составляющую скорости в направлении вершины образования. Чем ниже энергия иона, тем сильнее изменяет его траекторию возникшее возмущение. В результате поток низкоэнергетичных ионов к вершине новообразования превосходит поток ионов аргона с энергиями большими чем порог распыления данного материала, что приводит к росту исследуемых структур.

Мы полагаем, что процессы массопереноса являются основными с точки зрения роста новообразований. Для изучения этих процессов нами были проведены эксперименты, в которых использовались алюминиевые и медные катоды. Материалы катодов выбраны такими в связи с тем, что в противоположность алюминию на поверхности медного катода нам не удалось установить рост листовых образований.

Вдоль пространства тлеющего разряда от катода до анода устанавливались стеклянные пластины. При проведении эрозии катода тлеющим разрядом на поверхность пластин напылялся материал катода. Профиль толщины пленки, напыляемой на установленные пластины, прямо пропорционален потоку распыляемых частиц катода в пространстве между электродами. Распыление меди и алюминия проводилось при одинаковых условиях, причем, время распыления выбиралось так, чтобы число распыленных атомов алюминия было заведомо больше распыленных атомов меди. Это было сделано потому, что коэффициент распыления для меди составляет 4 атома/ион, а для алюминия 2,3 атома/ион [5]. Результаты этих экспериментов представлены на рис.3. Из рисунка видно, что толщина пленки алюминия уменьшается с расстоянием от катода быстрее, чем толщина медной пленки. Площади под кривыми отличаются в 1,8 раза. Это обусловлено тем, что большая часть распыленного алюминия возвращается на катод, что может быть объяснено высокой степенью ионизации распыленных атомов алюминия (потенциал ионизации алюминия 5,98 эВ, меди 7,72 эВ [6]).

Ионная компонента распыленного материала значительно быстрее покидает разрядный объем чем нейтральная. Это происходит за счет возврата ее на катод и частично за счет амбиполярной диффузии, которая ускоряет уход ионов на стенки. Нахождение максимума толщины пленки алюминия, напыляемой на стенки камеры, на значительно меньшем расстоянии от катода чем в случае медного катода (см.рис.3), служит дополнительным подтверждением предложенного нами механизма роста образований.

Форма развивающегося новообразования, по-видимому, определяется условиями и механизмом формирования зародыша. Полусферическая форма зародыша обуславливает развитие симметричных структур, какими являются трубки и воронки. Тонкопленочные листовые образования развиваются

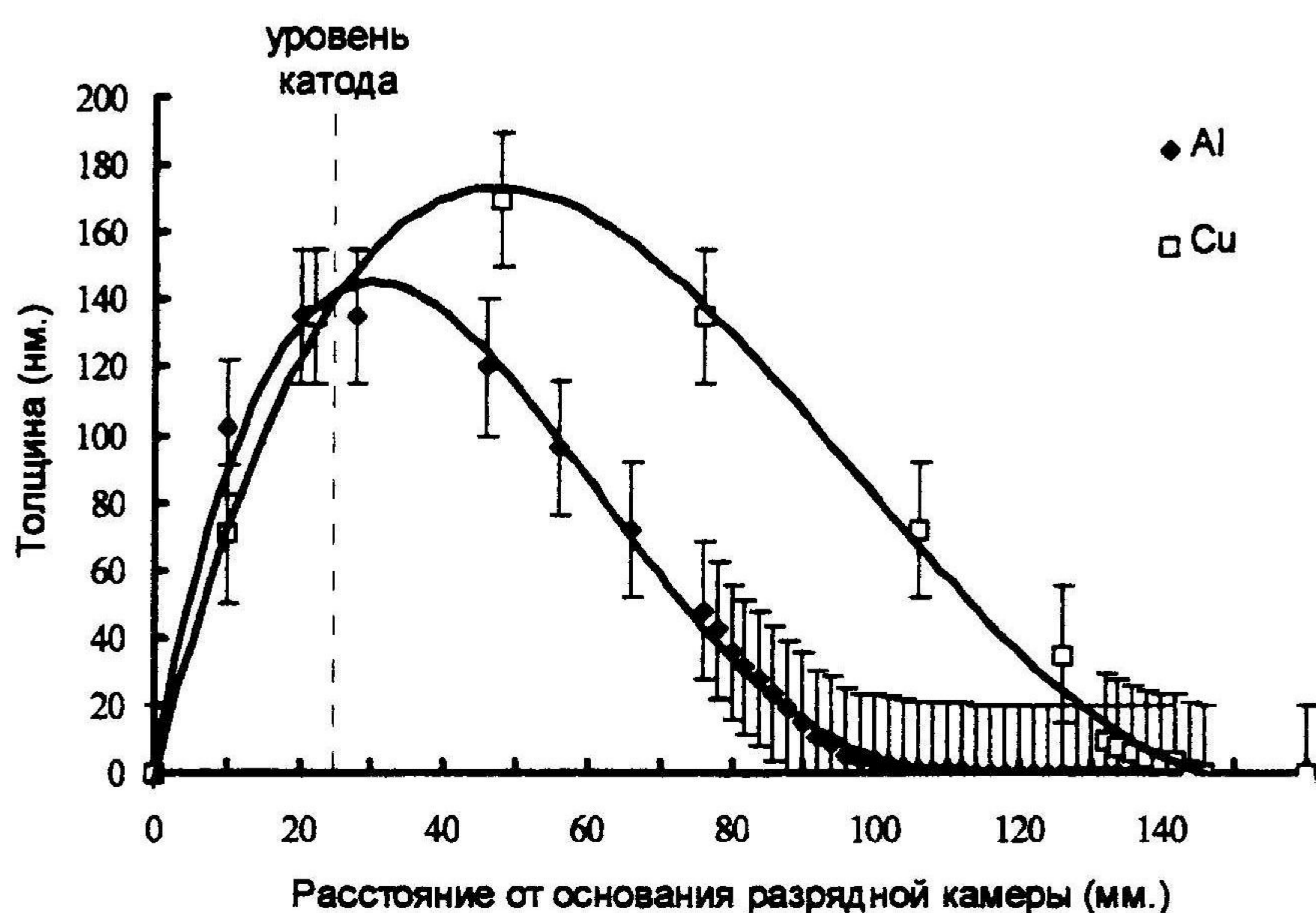


Рис.3. Распределения толщины напыленной пленки.

на протяженных элементах рельефа. Сложная пространственная ориентация тонкопленочных листовых новообразований, трансформирующаяся в процессе их роста, может быть вызвана наличием внутренних напряжений, которые возникают в результате ионной бомбардировки их поверхности. Интересной характеристикой новообразований является толщина стенок, которая остается практически одинаковой $\sim 1\text{ мкм}$ независимо от формы и размера образований, как в их основании, так и на вершине.

Проведенные исследования показали, что в числе параметров, влияющих на рост новообразований при низких температурах подложки, следует учитывать ток разряда, природу рабочего газа, чистоту поверхности катода, его химический состав и структуру. Особую роль играют процессы массопереноса, которые в данном случае имеют сложный характер и требуют дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Л.Б. Беграмбеков // Итоги науки и техники. Серия "Пучки заряженных частиц и твердое тело". Т.—7.С.—4. 1993.
- [2] G.K. Wehner // NASA Report NCR 159549. // Minneapolis: Univ. Minnesota. 1979.
- [3] Л.Б. Беграмбеков, А.М. Захаров, А.А. Пустобаев и др. // Препринт МИФИ .стр11- 86.1986.
- [4] В.И. Глушко, В.В. Бобков, Д.Л. Рябчиков и др // Зарождение и рост новообразований в тлеющем разряде аргона. // Известия академии наук. Серия физическая. Т.-58. №3. стр138-142. 1994
- [5] Р.Бериш // Распыление твердых тел ионной бомбардировкой: Физ. Распыления одноэлементных твердых тел. // Т.-1.М. Мир, 1984.
- [6] И.Ф. Коваль, В.Н. Лысенко, П.В. Мельник, Н.Г. Находкин; Под ред. Н.Г. Находкина. // Атлас ионизационных спектров. // Выща шк. Изд-во Киев. ун-те, 1998.