

Семинар «Теоретическая и прикладная механика»

**ВЛИЯНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ РАЗЛЕТА ПРОДУКТОВ ЛАЗЕРНОЙ
АБЛЯЦИИ НА ПРОЦЕСС ОСАЖДЕНИЯ И СВОЙСТВА
ПРОВОДЯЩИХ ПОКРЫТИЙ**

Колосовский Данил Антонович

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской
академии наук (ИТ СО РАН)**

danil-ak@yandex.ru

Развитие современной микро- и наноэлектроники сопровождается ростом требований к свойствам тонкоплёночных проводящих покрытий. Особый интерес представляют сверхтонкие плёнки золота толщиной менее 10 нм, которые могут использоваться в качестве прозрачных электродов в оптоэлектронных устройствах, гибкой электронике и сенсорных системах. Однако при осаждении металлов на типичные подложки, такие как кремний и кварц, реализуется островковый механизм роста Вольмера–Вебера. В результате формирование проводящей плёнки происходит только при толщине порядка 10–12 нм, что существенно превышает требуемые значения для прозрачных электродов.

В работе исследуется управление морфологией и электрофизическими свойствами сверхтонких золотых плёнок при наносекундном лазерном осаждении. При воздействии наносекундного лазерного импульса на поверхность мишени происходит её локальная абляция и формируется неравновесный поток испарённого вещества, распространяющийся в направлении подложки и осаждающийся на её поверхности. Разлёт продуктов абляции сопровождается взаимодействием частиц с фоновым газом, что приводит к изменению их кинетической энергии, направленности движения и потока частиц, достигающих подложки.

Предложен механизм, описывающий влияние газодинамики разлёта продуктов абляции на процесс формирования сверхтонких металлических плёнок. Показано, что порог перколяции плёнки (толщина, при которой происходит переход от изолирующей островковой структуры к проводящей сети) определяется соотношением кинетической энергии осаждаемых частиц и их потока E_k/J .

Методом прямого статистического моделирования Монте-Карло (ПСМ) установлено, что зависимость отношения средней кинетической энергии частиц к их потоку на подложку имеет немонотонный характер и обладает

выраженным минимумом при давлениях фонового газа порядка 10 Па. Экспериментально продемонстрировано, что при давлении 10 Па происходит формирование сверхтонких проводящих плёнок золота.

Исследовано влияние состава фонового газа на параметры разлёта продуктов лазерной абляции и свойства формируемых покрытий. Методом ПСМ установлено, что вследствие различий в столкновительном переносе в различных газовых средах изменяется соотношение кинетической энергии частиц и их потока E_k/J . Это приводит к различиям в морфологии и проводящих свойствах плёнок, что подтверждается экспериментально.

Показано также, что расстояние между мишенью и подложкой является важным геометрическим параметром, определяющим газодинамический режим разлёта продуктов абляции. Увеличение расстояния приводит к снижению потока частиц, достигающих подложки, и росту параметра E_k/J , что сопровождается увеличением порога перколяции и ухудшением проводящих свойств сверхтонких плёнок. Экспериментально показано, что увеличение расстояния мишень–подложка от 20 до 35 мм приводит к переходу от сплошной проводящей плёнки к островковой структуре с высоким сопротивлением.

Результаты ПСМ согласуются с оценками, полученными в рамках газодинамической модели разлёта продуктов лазерной абляции, основанной на концепции ударных волн. В рамках приближения сильного взрыва показано, что кинетическая энергия частиц, достигающих подложки, определяется энергией лазерного импульса, плотностью фонового газа и расстоянием между мишенью и подложкой. Полученные оценки параметра E_k/J качественно согласуются с результатами прямого статистического моделирования Монте-Карло при изменении состава фонового газа и расстояния мишень–подложка.

Показано также, что площадь лазерного пятна является самостоятельным управляющим параметром наносекундного лазерного осаждения. Методом ПСМ установлено, что увеличение площади пятна приводит к росту потока частиц, достигающих подложки, и снижению параметра E_k/J . Экспериментально продемонстрировано, что увеличение площади лазерного пятна сопровождается переходом от островковой морфологии плёнки к проводящей структуре.

Полученные результаты показывают, что параметры газодинамического разлёта продуктов лазерной абляции определяют соотношение E_k/J осаждаемых частиц и тем самым контролируют механизм формирования сверхтонких металлических плёнок.