

Отзыв

на автореферат диссертации В.Г. Павлова «Поверхностная диффузия, десорбция и кристаллический рост в электрическом поле», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Цикл работ В.Г. Павлова, обобщенных в его диссертации, посвящен исследованию поверхностных процессов в экстремально сильных электрических полях, сравнимых с внутрикристаллическими и внутриатомными полями (10^7 – 10^8 В/см). Это научное направление, имеющее уже более чем полувековую историю, в последние годы приобрело особый интерес, что связано с интенсивным развитием нанотехнологий. Дело в том, что в структурах с нанометровым размером рабочих элементов электрические поля с указанной выше напряженностью создаются уже при разностях потенциалов, составляющих всего ~10 Вольт. Поскольку время диффузии атомов и молекул уменьшается пропорционально среднему квадрату расстояния, на которое эти частицы смещаются путем диффузионных скачков, то диффузионные процессы – как полезные, так и нежелательные – играют весьма важную роль в наномире. Например, процессы полевого поверхностного дрейфа атомов и молекул, а также электромиграция могут за весьма короткое время приводить к недопустимым изменениям формы рабочих элементов на наномасштабах и выводить из строя соответствующие структуры и приборы. Следует также отметить, что и в биологических объектах могут существовать достаточно сильные электрические поля на наномасштабах, что связано с наличием в биомолекулах электрических зарядов и значительных дипольных моментов. Таким образом, актуальность диссертационной работы В.Г. Павлова не вызывает сомнений.

Отличительной особенностью исследований В.Г. Павлова является то, что он применил прямой метод регистрации полевой десорбции и полевого испарения – путем непосредственного измерения ионных токов, в дополнение к фотосъемке эмиссионных изображений. Это позволило ему наблюдать указанные явления в динамике и заодно предложить два новых метода полевой ионной микроскопии – полевой десорбционной микроскопии непрерывного действия и высокотемпературного полевого испарения.

Используя параллельно традиционные и предложенные им новые методы полевой электронной и ионной микроскопии, диссертант детально изучил эволюцию формы монокристаллических острых эмиттеров, происходящую в результате поверхностной диффузии (дрейфа) и десорбции поверхностных атомов в электрическом поле. Следует отметить большую сложность процессов формоизменения, которые зависят от температуры и от приложенного электрического поля или, точнее говоря, от приложенного между электродами диода разности потенциалов, поскольку напряженность поля и ее распределение у поверхности эмиттера непрерывно изменяются в процессе изменения формы эмиттера. Ситуация еще более усложняется тем, что процесс формоизменения происходит либо при неизменной массе эмиттера, когда полевым испарением (десорбцией) можно пренебречь, либо сопровождается необратимой потерей массы при наличии испарения (десорбции).

На основе систематических экспериментов, выполненных с шестью тугоплавкими металлами – вольфрамом, молибденом, танталом, ниобием, иридием и рением, В.Г. Павлов смог построить своеобразную диаграмму морфологических состояний острых полевых эмиттеров в безразмерных координатах температура – поле.

Происходящим изменениям формы острий им дана физическая интерпретация в терминах изменений свободной поверхностной энергии в зависимости от температуры, поля и атомной структуры различных граней кристалла.

Путем прямой регистрации десорбируемых ионов электроположительных элементов диссертант впервые измерил зависимость десорбирующего поля от степени покрытия, которая носит немонотонный характер, обусловленный немонотонным изменением


работы выхода в связи с переходом от полярного к металлическому характеру адсорбционной связи по мере роста степени покрытия в пределах моноатомного слоя.

Диссертантом реализованы новые конструкции квазиточечных полевых ионных источников с высокой плотностью тока, предложен метод выравнивания геометрии (фактора поля) в многоострийных полевых эмиттерах. Создание полевого катода с геометрией, при которой доминирует вклад в полевую эмиссию тока из отдельного выступающего над поверхностью атома, позволило автору зарегистрировать рекордную локальную плотность электронного тока $\sim 10^9 - 10^{10}$ А/см² в стационарном режиме.

Можно констатировать, что В.Г. Павлов внес значительный вклад в выяснение процессов формоизменения металлических полевых эмиттеров, обусловленного дрейфом поверхностных атомов в неоднородном электрическом поле и полевой десорбцией. Главный итоговый результат состоит в том, что на основе полученного систематического экспериментального материала для шести тугоплавких металлов диссертант предложил обобщенную диаграмму морфологических состояний в безразмерных координатах температура – поле, нормированных по температуре плавления и полю испарения, определяемому энергией ионизации, теплотой сублимации и работой выхода металла, а также температурой. В результате одновременного протекания процессов полевого дрейфа и полевого испарения поверхностных атомов эволюция формы острийных эмиттеров проходит через целый ряд стадий, зависящих от свойств металла, электрического поля, температуры и времени экспозиции. Полученная диссертантом диаграмма морфологических состояний эмиттера является универсальной для тугоплавких металлов. Она позволяет практикам выбирать оптимальный режим термополевой обработки эмиттеров и уловить нужный момент, когда образуется требуемая для тех или иных целей наилучшая форма острия. Значительная практическая ценность результатов диссертанта подтверждается тем, что им получено 8 авторских свидетельств на изобретения.

По моему мнению, научный уровень, объем и практическая значимость полученных В.Г.Павловым результатов позволяет утверждать, что он вполне заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности «физическая электроника».

Вице-президент
Национальной академии наук Украины,
профессор, доктор физико-математических наук
академик

 А.Г. Наумовец

24.03.2014 г.



24.03.2014

Наумовец Антон Григорьевич
Ул. Владимирская, 54, Киев, 01030, Украина
E-mail: agn@iop.kiev.ua, тел.: +380445250927