

МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИЗМЕРЕНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ ПРИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Мамаев А.И., Мамаева В.А.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Томск, Россия

Принципиально новым в физической химии является изучение и моделирование строения границы раздела двух жидких фаз при ее высоковольтной поляризации, описывающее состояние границы раздела под потенциалом, гидродинамику, концентрационные распределения реагирующих веществ, изменения напряженности электрического поля вблизи границы раздела и возбуждение на ней микроплазменных разрядов. Микроплазменные процессы - это сложные многостадийные процессы, состоящие из химических, электрохимических реакций, стадии микроплазменных разрядов, а также стадий массопереноса за счет диффузии, миграции, конвекции и концентрационной поляризации, усиливающейся при высоковольтной поляризации границы раздела жидких фаз. Всестороннее исследование сложных многостадийных процессов на границе раздела жидких фаз открывает новые возможности и актуально для развития теории физической химии и практического применения.

Высокоэнергетическое воздействие на границу раздела и модификация поверхности материалов с целью придания ей функциональных свойств различного назначения вносят значительный вклад в развитие метода микроплазменного оксидирования - одного из наиболее эффективных, экономичных и экологически чистых методов получения оксидных керамических покрытий, обладающих износостойкими, термостойкими, коррозионно-защитными, декоративными, биоинертными и биоактивными свойствами. Широкое применение метода микроплазменного оксидирования требует экспрессного управления процессом, для этого необходимо более детально изучить процессы, происходящие на начальных стадиях формирования барьерного слоя; осуществить комплексный подход при разработке теории и технологии импульсной высоковольтной поляризации границы раздела фаз. С каждым годом растет количество публикаций по микроплазменным процессам в растворах электролитов, но они имеют в основном исследовательский или прикладной характер, теоретических работ по механизму микроплазменного процесса и методам измерения параметров микроплазменных процессов явно недостаточно, отсутствуют публикации по высоковольтному воздействию на границу раздела двух жидких фаз. Отсутствие методов измерения электрических сигналов микроплазменных процессов исключает возможность получения вольтамперных зависимостей при высоковольтной поляризации как границы электрод-электролит, так и границы раздела двух жидких фаз.

Важность метода измерения вольтамперных зависимостей быстротекущих импульсных процессов при прохождении токов высокой плотности трудно переоценить, так как она позволяет вплотную подойти к исследованию скоростей парциальных электрохимических и плазменных реакций, и соответственно к возможности их исследования и управления процессом. Разработка новых методов измерения в ряде случаев является ключевой для понимания математических моделей исследуемого процесса, проверки физико-химических моделей и выявления новых направлений практического применения: синтез органических соединений, получение мембран, очистка и стерилизация медицинских препаратов и инструментов, получение электрической энергии, интенсификация процессов экстракции. Циклические вольтамперные характеристики зависят от вида обрабатываемого материала и состава электролита, что позволяет использовать их для диагностики природы сплавов и технологии его изготовления, для прогнозирования и конструирования качества покрытий, а также контроля и управления процессами формирования функциональных керамических покрытий.

Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены критерии возбуждения микроплазменных процессов на границе раздела двух фаз при высокоэнергетическом импульсном воздействии. Необходимыми и достаточными условиями возникновения микроплазменных процессов на границе раздела двух фаз являются: поляризация границы раздела, за счет электрохимических реакций формирование барьерного слоя с низкой электропроводностью для границы раздела жидкость-жидкость, или оксидно-концентрационного слоя для границы электрод-электролит, напряженность электрического поля должна достигать напряжения пробоя.

Разработаны физико-химические модели начальных стадий формирования барьерного слоя и возникновения микроплазменных разрядов, описывающие изменение концентрации и потоков реагирующих ионов вблизи границы раздела жидких фаз, с учетом особенностей строения границы и гидродинамики, с учетом всех стадий переноса - диффузии, миграции, конвекции. Получены уравнения для концентрации реагирующих ионов и напряженности электрического поля. Показано, что на границе раздела жидкость-жидкость скорость движения жидкости на самой границе раздела максимальна при высоковольтном импульсном воздействии, а максимальная напряженность электрического поля возникает вблизи границы раздела жидких фаз, в отличие от границы электрод-электролит, где напряженность электрического поля максимальна на границе раздела, а скорость

движения жидкости равна нулю.

Разработана физико-химическая модель начальных стадий формирования барьерного слоя на границе электрод-электролит для сильноточковых микроплазменных процессов при высоковольтной импульсной поляризации при высоких скоростях изменения потенциала. Получены аналитические уравнения для потоков и концентрационного распределения реагирующих ионов в приэлектродном слое, теоретические вольтамперные зависимости.

Разработаны новые методы измерения вольтамперных зависимостей быстротекущих микроплазменных процессов на границе раздела фаз, и получены вольтамперные зависимости на границах раздела электрод-электролит и электролит-органическая жидкость в течение одного импульса при скорости изменения потенциала до 10^8 В/с и амплитуде напряжения до 4000 В, выделена активная и емкостная составляющие тока, что позволяет изучать кинетику процессов окисления-восстановления на границе раздела жидких фаз и процесса формирования покрытия на границе электрод-электролит. С помощью электронной системы увеличения показано, что вольтамперные зависимости границы раздела жидких фаз при высокоэнергетическом воздействии на нее, имеют воспроизводимые максимумы тока, которые характеризуют динамику изменения электродных реакций, что открывает новые перспективы и является инструментом для исследования кинетики процесса и практического аналитического применения. Получены и исследованы высоковольтная импульсная поляризация границы раздела жидких фаз и микроплазменные процессы на границе раздела жидких фаз (водные растворы КОН, H_3PO_4 , KF, KCl, KI и органические растворители бензол, толуол, октан, гексан и др.) при поляризующем напряжении до 4000 В, что открывает новые возможности синтеза при воздействии высокоэнергетических импульсов на вещество.

Высоковольтная поляризация границы раздела жидких фаз и микроплазменные процессы приводят к появлению активных ионов в водной и радикалов в органических фазах, к активации границы раздела жидких фаз, при этом возможна разработка новых методов управления состоянием границы раздела, в том числе синтеза новых органических соединений, утилизации органических отходов, созданию нового типа топливных элементов, интенсификации процессов экстракции, получению перфорированных мембран из металлической фольги и полимерного пленочного материала. Показано, что вольтамперные зависимости быстротекущих импульсных процессов при высоковольтной поляризации границы раздела двух фаз зависят от их природы, что можно использовать для диагностики сред и материалов