ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

***«*САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО»**

|  |
| --- |
| ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ, МАТЕРИАЛОВ И ТРАНСПОРТА |
|  |

**Отчет о прохождении рассредоточенной стационарной производственной практики (научно-исследовательской работы)**

|  |
| --- |
| Жукова Павла Юрьевича |

|  |
| --- |
| 2 курса магистратуры, группа № 3342201/20101 |

|  |
| --- |
| *22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»* |

|  |
| --- |
| **Место прохождения практики:** *ФГАОУ ВО «СПбПУ», ИММиТ, ВШ ФиТМ, СПб, ул. Политехническая, д.29* |

|  |
| --- |
| **Сроки практики: осенний семестр 2023/2024 уч. года (01.09.2023-16.12.2023)** |

|  |
| --- |
| **Руководитель практики от ФГАОУ ВО «СПбПУ»: Филатов Леонид Анатольевич,** **старший преподаватель ВШФиТМ, ведущий инженер учебной лаборатории «Нанотехнологии и микросистемная техника»** |
|  |

|  |
| --- |
| **Оценка:** |

|  |
| --- |
| Руководитель практики /Л.А. Филатов/ |

|  |
| --- |
| Обучающийся: /П.Ю. Жуков/ |

|  |
| --- |
| Дата: 16.12.2023 |

# Введение

Электрохромизм – это явление обратимого изменения оптических свойств материала под действием электрического поля. К электрохромным материалам относится целый ряд оксидов переходных металлов (например, WO3, МоО3, V2O5, Nb2O5, NiO, Fe2O3, ТiO2 и др.), а также некоторые органические соединения (красители, проводящие полимеры) [1]. Изменение оптических свойств (спектра пропускания) позволяет разрабатывать различные устройства на базе таких материалов: тонкоплёночные прозрачные дисплеи, стёкла с возможностью затемнения, светофильтры и др.

В последнее время актуализировались исследования электрохромизма в системах с твердыми электролитами с целью разработки технологий изготовления таких устройств, как «умные» стекла и «умная» бумага, гибкие дисплеи и тонкопленочные сенсоры [1].

В рамках данной работы рассмотрены теоретические основы электрохимии и электрохромизма, разработка методики исследования электрохромных плёнок на базе ITO и NiO.

Структура работы?

# 1 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОХИМИИ И ЭЛЕКТРОХРОМИЗМА

## 1.1 Базовые понятия электрохимии

Электрохимия – наука, которая изучает процессы и закономерности взаимного превращения химической и электрической форм энергии [2, 3]. Понимание концепций электрохимии необходимо для обсуждения и работы с электрохромными материалами, так как

Процессы прямого превращения химической энергии в электрическую и обратно называются электрохимическими процессами. Электрохимические процессы можно разделить на две группы: процессы превращения химической энергии в электрическую (гальванические элементы) и процессы превращения электрической энергии в химическую (электролиз). Электрохимическая ячейка (система) состоит из нескольких (обычно 2 или 3) электродов и ионного проводника между ними. Ионным проводником служат растворы или расплавы электролитов, а также специальные перегородки (солевой мостик, трубка с водным раствором, закрытая с обоих концов стекловатой, ионообменная мембрана, пластина из пористого стекла). В качестве электродов используют проводники, имеющие электронную проводимость. Для обеспечения работы электрохимической ячейки электроды замыкаются друг с другом [3].

При погружении металла в раствор электролита в результате взаимодействия поверхностных ион-атомов металла, находящихся в узлах кристаллической решетки, с полярными молекулами воды, ориентированными у поверхности электрода, на границе раздела фаз металл – раствор возникает разность потенциалов, которую принято называть потенциалом электрода, или электродным потенциалом металла. Это связано с образованием двойного электрического слоя, то есть несимметричного распределения заряженных частиц у границы раздела фаз [3].

Гальваническим элементом называется система, в которой за счет протекающей в ней химических процессов генерируется электрическая энергия. В гальваническом элементе химические реакции протекают самопроизвольно на границе раздела электрод/электролит, а различные электроды с различными электродными потенциалами соединены друг с другом проводником. Разность этих потенциалов определяет ЭДС ячейки. Несколько гальванических элементов, соединенных последовательно, образуют батарею – химический источник тока. Простейший гальванический (или электрохимический) элемент состоит из двух металлических электродов, опущенных в электролит и соединенных между собой металлическим контактом [2].

Если электрохимическая ячейка работает в режиме гальванического элемента, то измерительное устройство во внешней цепи служит только для того, чтобы пропускать или не пропускать электроны во внешнюю цепь, т. е. ограничивается пассивной ролью. Но если его заменить активным инструментом, например источником постоянного напряжения, то эта же ячейка станет потребителем внешней энергии и будет работать в режиме электролитической ячейки. В этом случае, регулируя внешнее наложенное напряжение, можно не только изменить направление реакции, но и контролировать глубину ее протекания [2].

Таким образом, в электролитической ячейке реакции на границе раздела электрод/электролит протекают за счет внешнего источника электрической энергии; последняя превращается в химическую энергию продуктов реакций, протекающих на электродах [2]. Схема простейшей электролитической ячейки приведена на рис. 1 ниже.

В электролитической ячейке отрицательный полюс источника тока присоединяют к электроду, который называют катодом; положительный полюс к электроду, который называют анодом. Анод может быть как растворимым, например, медь при ее электролитическом рафинировании, так и нерастворимым, например, платина при электролизе воды [2]. При включении внешнего источника постоянного тока движение ионов в электролите становится направленным. Отрицательно заряженные частицы (анионы) перемещаются к аноду, положительно заряженные ионы (катионы) направляются к катоду. Внешний источник тока выполняет при этом роль своеобразного электронного насоса, который «перекачивает» электроны с анода на катод [2].

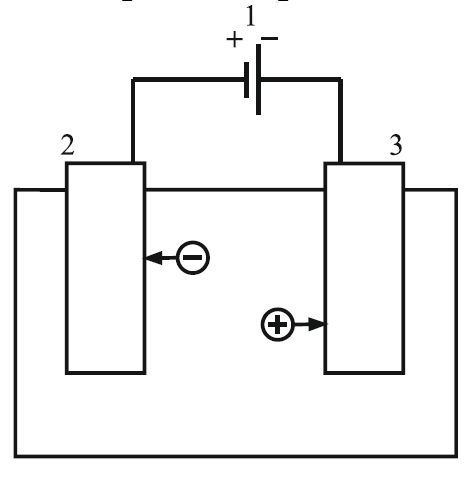


Рис. 1 – Схема устройства для электролиза: 1 – источник постоянного тока; 2 – анод; 3 – катод [2]

С увеличением напряжения на электролизере усиливается приток электронов на катод и отвод их с анода. При этом в процессе электролиза потенциал катода сдвигается в отрицательную, а потенциал анода – в положительную сторону. Когда потенциалы электродов достигают определенных значений, создается возможность протекания на катоде реакции восстановления каких-либо окислителей, например, катионов металлов или ионов водорода в водных растворах. На аноде, в свою очередь, создается возможность протекания реакции окисления каких-либо восстановителей, например, анионов или металла, из которого сделан анод. Если металл анода окисляется до ионов и в виде ионов переходит в раствор или расплав, то этот процесс называют электролизом с растворимым анодом. Соответственно, если анод не переходит в раствор в виде ионов, то такой процесс называют электролизом с нерастворимым анодом. В качестве нерастворимых анодов могут использоваться графит, некоторые инертные металлы (золото, платина, палладий). В случае электролиза с нерастворимым анодом на аноде идет окисление анионов [2].

Таким образом, сущность электролиза состоит в осуществлении за счет электрической энергии химических реакций – восстановления на катоде и окисления на аноде. При этом восстановительное и окислительное действие электрического тока во много раз сильнее действия химических восстановителей и окислителей [2].

На катоде происходит передача электронов веществам, находящимся в растворе или расплаве электролита. Катод при этом выступает в роли восстановителя. Функцию окислителей могут выполнять катионы металлов или другие окислители, которые восстанавливаются на катоде по схеме:

Для того чтобы процесс восстановления на катоде протекал в указанном направлении, потенциал окислителя *(ЕOx/Red)* должен быть больше потенциала катода (EК), т.е. должно выполняться условие [2]:

Чем выше окислительная способность ионов или молекул (выше их потенциал), тем легче они восстанавливаются на катоде. Следовательно, на катоде в первую очередь будут разряжаться ионы или молекулы, имеющие более положительный окислительно-восстановительный потенциал [2].

Скорость катодного процесса при электролизе определяется величиной смещения потенциала катода от равновесного значения. Скорость процесса будет тем больше, чем сильнее смещен потенциал катода в сторону отрицательных значений [2].

На аноде происходит процесс окисления. Окислению могут подвергаться анионы, подошедшие к аноду, молекулы растворителя, сам материал анода. Вещества, которые окисляются на аноде, являются восстановителями [2].

Схема анодного процесса может быть представлена в общем виде следующей схемой:

Для того чтобы процесс на аноде протекал в указанном направлении, потенциал восстановителя (*EOx/Red*) должен быть меньше потенциала анода (EА) [2]:

Чем выше восстановительная способность вещества (ниже его потенциал), тем легче оно окисляется на аноде. Поэтому на аноде в первую очередь разряжаются ионы или молекулы, имеющие более отрицательный окислительно-восстановительный потенциал [2].

От того, насколько смещен потенциал анода от равновесного значения, зависит и скорость анодного процесса. Скорость анодного процесса будет тем больше, чем сильнее смещен потенциал анода в область положительных значений [2].

## 1.2 Природа электрохромизма

В химии, хромизм – это явление обратимого изменения оптических свойств материала (светопропускания, цвета) [1, 4].

В большинстве случаев хромизм основан на изменении электронных состояний молекул, в частности p- и d- электронные состояния. Это явление вызывается различными внешними воздействиями, которые могут изменить электронную структуру вещества. Электрохромизм вызван индуцированием и потерей электронов. Это явление имеет место в соединениях с окислительно-восстановительными активными состояниями [4].

Ту часть молекулярной системы, которая ответственна за передачу цвета, называют хромофором [4]. Изменения оптических свойств электрохромного материала связано с изменением поглощения на определённых длинах волн.

Поглощению света способствуют электроны, которые в результате изменения электронной структуры молекул получают возможность перемещаться между энергетическими уровнями, такими как основное и первое возбужденное состояния за счёт поглощения фотонов определённой длины волны. Длина волны поглощенного света λ связана с величиной запрещенной зоны E между этими уровнями согласно соотношению Планка [4]:

где *ν* – частота, *h* – постоянная Планка и *c* – скорость света в вакууме.

В случае NiO наблюдают переход никеля из состояния Ni2+ в Ni3+:

Привести реакции из статей и книжек

Список источников

1. Жаковлева дисс
2. Основы эх методов
3. Нечаев основы эх
4. Электронные оксидные материалы