

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ**СОВЕЩАНИЕ ПО КАТОДНОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ**

С 25 по 29 ноября 1955 г. в Киеве, при Институте физики Академии Наук УССР было проведено совещание по катодной электронике, созванное Советом по Радиофизике и Отделением физико-математических наук АН СССР и Академией Наук УССР.

В работе совещания принимали участие представители научно-исследовательских учреждений АН СССР, АН УССР, АН Уз. ССР, НИИ и заводов промышленности и высших учебных заведений. Заслушанные доклады и дискуссия свидетельствуют о значительных успехах, достигнутых советскими учёными и работниками промышленности в области физической и технической катодной электроники. Совещание нацелило работников науки и техники на решение ряда новых и важных для народного хозяйства задач.

Открыл совещание вступительным словом академик А. А. Лебедев.

Затем с докладом «Некоторые итоги и задачи исследований в области физической катодной электроники» выступил Н. Д. Моргулис. В докладе рассмотрены основные вопросы, современное состояние и перспективы работ по катодной электронике. В области исследования термоэлектронной эмиссии отмечены большие успехи, достигнутые в последние годы в большом числе экспериментальных работ и в разработке новых типов катодов. Обращено внимание на совершенно недостаточное число теоретических работ и настоятельную необходимость обобщения большого числа экспериментальных исследований, посвящённых оксидному катоду, и создания теории реального оксидного катода.

Много внимания уделено исследованиям металло-плёночных систем, направленных на создание катодов с управляемыми электронными и адсорбционными параметрами и новых эмиссионных систем — в первую очередь импульсно накаляемым металлам.

В области исследований, посвящённых автоэлектронной эмиссии, также отмечены большие успехи, достигнутые в последнее время, и актуальность этого вопроса, связанная со следующими направлениями: а) получение больших плотностей эмиссии и первые попытки создания приборов автоэлектронного действия. б) Разработка электронных и ионных проекторов и исследование природы даваемого ими изображения, в) Применение автоэлектронных проекторов к изучению поверхностных явлений. г) Вопросы автоэлектронной эмиссии в газовом разряде. Подчёркнуты большая перспективность развития этой области и сравнительно малое внимание, уделявшееся ей до сих пор.

В области исследований фотоэлектронной эмиссии отмечен ряд интересных экспериментальных результатов, особенно важных для изучения энергетической структуры твёрдых тел и экситонного механизма фотоэффекта. Обращено внимание на необходимость теоретического обобщения

полученных результатов. Вместе с тем подчёркивается отставание в области улучшения старых и создания новых эффективных катодов, особенно для длинноволновой области спектра. Некоторые успехи достигнуты при изучении наиболее простого сурьмяно-цезиевого катода, однако полученные здесь результаты также нуждаются в теоретическом обосновании.

В области исследования вторичной электронной эмиссии отмечены полученные за последнее время интересные результаты. Обращено внимание на то, что до сих пор не выяснен вопрос об относительной роли возбуждения электронов и кинетики их движения в явлении вторичной эмиссии. Подчёркнута большая важность и перспективность исследований дискретных потерь в твёрдом теле, зарядки и наведённой проводимости диэлектриков, в частности, в связи с вопросом о непосредственном превращении энергии радиоактивных излучений в электрическую.

В области явлений, происходящих при ударе тяжёлых частиц о поверхность, отмечено отставание исследований процесса катодного распыления и теории этого явления. Обращено внимание на необходимость создания поверхностей с повышенной работой выхода для расширения числа термически ионизирующихся элементов и на ряд интересных работ в области вторичной ионно-электронной эмиссии, часть из которых выполнена на очень высоком экспериментальном уровне.

В заключение отмечена необходимость всемерного форсирования работ в области физической катодной электроники, их тесной увязки с работой электровакуумной промышленности и проведения их с использованием всех современных методов исследования и с неперменным участием физиков-теоретиков.

Заслушанные на совещании доклады и сообщения можно ориентировочно сгруппировать по следующим проблемам:

ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ

Обзорный доклад по этой проблеме сделал Б. М. Царёв. В докладе проведён анализ требований, предъявляемых к термокатадам в современных электровакуумных приборах. Рассмотрена современная классификация термоэлектронных катодов и степень обеспечения требований, предъявляемых к ним при работе в различных электровакуумных приборах. Даны критерии оценки качества катодов. Большое внимание уделено анализу дальнейших путей усовершенствования старых и создания новых термокатодов. Отмечены наиболее перспективные направления: а) Создание новых конструктивных вариантов существующих катодов (полые катоды, катоды с фокусировкой пучков большой плотности с помощью прикатодной оптики). б) Разработка плёночных катодов как на базе бария, так и тория (катоды пористо-плёночные, катоды с диффузией активатора сквозь металл). в) Создание катодов на основе боридов. г) Разработка сложных катодов (импрегнированные, прессованные, синтерованные). Повышение рабочей температуры катодов путём замены окислов менее летучими солями. д) Выяснение возможности создания катодов на базе цезия для работы в высоковакуумных приборах.

Н. Д. Моргулис доложил работу «О физике пористых металл-плёночных катодов», в которой были изложены результаты комплексного исследования различных физических свойств катодов этого типа с чисто карбонатным наполнением. Выведено уравнение для скорости диффузии Ва сквозь поры катода, в предположении, что последняя проходит как путём кнудсеновского истечения, так и миграцией по стенкам пор. Оценена величина скорости испарения Ва и перепада давления на губке катода. Произведено экспериментальное определение упругости паров Ва и Sr как над катодами с разной степенью пористости, так и при свобод-

ном испарении бария. На основании полученных, а также литературных данных можно заключить, что потеря Ва из катода происходит в основном путём кнудсеновского истечения сквозь поры.

Произведено масс-спектрометрическое определение состава остаточных газов в течение 100 часов работы катода в лабораторном приборе как в безэмиссионном, так и в эмиссионном режиме. Показано, что отравляющее действие остаточных газов и распыление активной плёнки ионной бомбардировкой могут оказывать существенное влияние на эмиссию катода. В работе приведён также расчёт эффективной эмиссионной зоны на зёрнах поверхности катода, который приводит к выводу, что распределение эмиссии катода по поверхности должно быть весьма неоднородным. Из рассмотрения кинетики термохимических реакций BaCO_3 и продуктов его разложения с вольфрамовой губкой делается вывод, что такой катод должен представлять собой систему: металл — слой полупроводника — плёнка адатомов Ва. Это подтверждается как эвриграфическим анализом поверхности катода, так и явно выраженной склонностью этих катодов к искрению.

В докладе Я. П. Зингермана «Электронная эмиссия пористых металлоплёночных катодов» было сообщено об экспериментальном исследовании термоэлектронной эмиссии пористых металлоплёночных катодов торцевого типа с карбонатным наполнением. Изучались вольтамперные характеристики катода в ускоряющем и тормозящем электрических полях, измеренные как при очень низких ($600\text{--}900^\circ\text{K}$), так и при рабочих температурах ($1300\text{--}1500^\circ\text{K}$). При низких температурах характеристики в тормозящем поле в масштабе $\lg I_a = f(v_i)$ дают строго линейную зависимость в очень широком интервале изменения анодного тока (6—7 порядков). Температура электронов, измеренная по этим характеристикам, оказалась в хорошем соответствии с температурой катода. Характеристики в ускоряющем поле позволили установить наличие пятнистости в распределении работы выхода по поверхности катода с размерами пятен порядка 10^{-4} см и амплитудой изменения работы выхода $\approx 0,3\text{--}0,5$ эв. Измерена средняя (2,1 эв) и минимальная (1,75 эв) работа выхода катода. При рабочих температурах экспериментально показано, что причиной аномального насыщения характеристики является постепенное насыщение эмиссии неоднородной по работе выхода поверхности катода. Предложен метод анализа характеристики, позволяющий получить кривую распределения плотности тока насыщения по поверхности катода.

Теме «Влияние адсорбированных плёнок дипольных молекул на работу выхода электрона из металла» был посвящён доклад Н. Д. Моргулис и В. М. Гаврилюка. В работе было экспериментально исследовано влияние адсорбированной плёнки CsCl на работу выхода W. Опыты проводились в вакууме $\sim 10^{-9}$ мм с использованием радиоактивного Cs^{134} для определения концентрации молекул в плёнке. Была определена зависимость работы выхода W от концентрации молекул CsCl. То обстоятельство, что дипольные молекулы CsCl понижают работу выхода вольфрама, интерпретируется как указание на наличие у поверхности металла ориентирующего электрического поля. Показано, что напряжённость этого поля лежит в пределах $10^6\text{--}10^7$ в/см. Сделано предположение о возможности также и электронного обменного взаимодействия молекулы с металлом, что может приводить к появлению дополнительного поверхностного заряда.

С сообщением «Изменение работы выхода при адсорбции на поверхности металла дипольных молекул» выступил И. М. Дыкман. Автор провёл теоретическое обобщение представлений об адсорбции дипольных молекул на поверхности металла, изложенных в предыдущем докладе. Он показал, что при физической адсорбции уменьшение работы выхода

может быть объяснено преимущественной ориентацией молекул-диполей электрическим полем E , действующим у поверхности металла и направленным от металла в вакуум. Потенциальная энергия системы n диполей, адсорбированных на поверхности металла, вычисляется автором с помощью эффективного электрического поля, которое, в среднем, действует на каждый диполь. Величина его определяется как полем E , так и полем, вызванным всеми диполями. Показано, что зависимость $\Delta\varphi$ от n всегда представляется функцией с максимумом. Рассмотрены некоторые предельные случаи, позволяющие значительно упростить полученные формулы. Приведено сравнение теории с экспериментальными данными Н. Д. Моргулиса и В. М. Гаврилюка (система $\text{CsCl} - \text{W}$) и В. М. Гаврилюка (система $\text{BaO} - \text{W}$). Полученные при этом значения E для этих случаев хорошо согласуются друг с другом.

В. М. Гаврилюк доложил работу «Влияние плёнок бария и окиси бария на работу выхода вольфрама, золота и германия». Автором установлены пределы изменения работы выхода для вышеуказанных систем и определены зависимости работы выхода от концентрации атомов или молекул в плёнке. Сделаны заключения относительно возможных механизмов воздействия плёнок BaO на работу выхода металлов в духе предыдущих докладов. Показано, что для объяснения подавляющего действия золотых покрытий на термоэмиссию недостаточно общепринятых представлений об уводе активного бария с поверхности золота. Для этого совершенно необходима установленная в работе монотонная зависимость работы выхода золота от концентрации атомов Ba . Показано, что воздействие плёнки BaO на работу выхода полупроводника (германия) значительно меньше, чем в случае металла ($\Delta\varphi = 1,2 \text{ эв}$) и чем в случае плёнки бария на германии ($\Delta\varphi = 2,4 \text{ эв}$). Исследована зависимость работы выхода германевой плёнки на металле от её толщины.

Выступивший в прениях К. Б. Толпыго отметил, что толщинные зависимости работы выхода полупроводников в случае отсутствия и в случае наличия поверхностных уровней будут резко отличаться. Поэтому исследования этих зависимостей могут пролить свет на вопрос о поверхностных состояниях полупроводника.

В докладе Г. Н. Шуппе, Е. П. Сытого и Р. М. Кадырова «Положительная поверхностная ионизация натрия и работа выхода грани (110) монокристалла вольфрама» приведены результаты интересного исследования термоэмиссии и эмиссии ионов Na , получаемых термической ионизацией с различных граней монокристаллической вольфрамовой проволоки. Величина работы выхода грани (110), определённая по термоэмиссии, оказалась равной $4,8 \pm 0,1 \text{ эв}$, тогда как по формуле Саха — Лэнгмюра это значение получается равным $5,3 \pm 0,1 \text{ эв}$. Таким образом, величина работы выхода грани (110) монокристалла вольфрама равна $5,3 \text{ эв}$.

В. Г. Большов в работе «Исследование термоэлектронной и вторичной эмиссии в точке плавления» задался целью произвести измерение термоэлектронной и вторичной эмиссии в точке плавления Cu и Ge . Автором показано, что термоэмиссия не испытывает скачка в точке плавления, однако, в случае Ge работа выхода изменяется с температурой от 2,5 до 3,5 эв. Иное поведение наблюдается для вторичной эмиссии. Коэффициент вторичной эмиссии в точке плавления вышеуказанных веществ изменяется скачкообразно. Величина и направление скачка зависят от природы вещества.

По поводу приведённого в докладе весьма малого значения работы выхода германия П. Г. Борзяком, Н. Д. Моргулисом, К. Б. Толпыго и др. был высказан ряд критических замечаний. Автор утверждал, что полученная величина работы выхода связана с высокой чистотой использованного им германия.

Д. Г. Булыгинский сделал доклад на тему: «Исследование распределения работы выхода на поверхности оксидного катода». Докладчик сообщил о методе, позволяющем определять функцию распределения площади неоднородного катода по работам выхода $\psi(\varphi)$. Метод основан на предположении о том, что отклонение кривой задержки в полулогарифмическом масштабе от прямой в области перехода к току насыщения обусловлено постепенным насыщением тока эмиссии с участков катода, имеющих разную работу выхода. Автор уделит внимание анализу и устранению различных факторов, могущих вызвать искажения кривой задержки. Метод применён автором к оксидному катоду на керне из кремнистого никеля. Им получены кривые $\psi(\varphi)$ для различных состояний активации и температур катода, и сделан вывод, что каждая из локальных работ выхода имеет положительный температурный коэффициент тем больше, чем больше работа выхода. Этот вывод хорошо согласуется с представлениями о работе выхода донорного полупроводника.

Выступившие в прениях К. Б. Толпыго, С. И. Пекар и Н. Д. Моргулис высказали критические замечания относительно методики эксперимента, а также обратили внимание на то, что этот вопрос был исследован в 1952 г. Я. П. Зингерманом.

В работе Ю. Г. Птушинского «Исследование динамики образования запорного слоя оксидного катода методом радиоактивных изотопов» была изучена динамика роста промежуточного слоя Ba_2WO_6 , возникающего на контакте между покрытием оксидного катода и керном из сплава $\text{Ni}-\text{W}$ с примесью W^{185} . Автором показано, что рост этого слоя, т. е. поступление вольфрама из керна, прекращается после первых 100—150 часов работы катода. Концентрация избыточного бария, выделявшегося в процессе реакции между BaO и W при рабочей температуре остаётся достаточной для нормальной работы катода в течение многих тысяч часов, чем и может объясняться большой срок службы таких катодов. Примесь вольфрама в оксидном покрытии при 1000°C за 200 часов не мигрирует на расстояние, большее чем 5μ .

Д. П. Виноградов доложил работу «Об интерпретации электроно-оптического изображения оксидного катода», в которой показано, что наблюдающийся в эмиссионном микроскопе резко неоднородный характер электронной эмиссии оксидного катода обусловлен неровностями поверхности катода. Эти неровности создают микролинзы, собирающие электроны в пучки, размеры и форма которых зависят от геометрии поверхности катода. Таким образом, устанавливается причина неравномерной плотности электронов в плоскости изображения, но не отрицается существование у оксидного катода эмиссионных центров, которые по своим размерам гораздо меньше величины неровностей поверхности оксидного катода.

Е. П. Остапченко сообщил результаты рентгеноструктурных исследований систем двойных и тройных карбонатов. Автором были приведены данные о кристаллической структуре двойных и тройных карбонатов Ba , Sr , Ca . Установлены области образования различных фаз и построена диаграмма состояния тройных карбонатов. Докладчик сообщил, что окислы Ba и Sr при совместном прокаливании образуют смешанные кристаллы; такая же картина наблюдается и у окислов Sr и Ca , тогда как окислы Ba и Ca не дают смешанных кристаллов. При совместном прокаливании BaO , SrO и CaO наблюдается образование смешанных кристаллов, однако, если в определённой области образуется однофазовый твёрдый раствор, то при других соотношениях компонентов образуются две фазы твёрдого раствора. Образование смешанных кристаллов приводит к уменьшению работы выхода. Приведены данные о процессе разложения двойных и тройных карбонатов.

В докладе В. С. Пархоменко, М. А. Чистяковой, Г. А. Вострова и Г. М. Кудряшовой «Исследование эмиссионных свойств оксидных катодов с кернами из новых никелевых сплавов» приведены результаты всестороннего изучения эмиссионных свойств оксидных катодов с различными кернами как в экспериментальных диодах, так и в промышленных лампах.

АВТОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ

С обзорным докладом «Автоэлектронная эмиссия (состояние и перспективы)» выступил Д. В. Зернов. В докладе рассмотрены основные этапы развития и современное состояние работ в области теоретического и экспериментального изучения механизма автоэлектронной эмиссии чистых металлов и полупроводников и обсуждены перспективы использования автоэлектронных катодов в технических электронных приборах. Наибольшее внимание уделено докладчиком выполненным в последние годы исследованиям термоавтоэлектронной эмиссии металлов, автоэлектронной эмиссии металлов при больших плотностях тока, а также новейшим теоретическим работам, посвящённым автоэлектронной эмиссии полупроводников. Указаны потенциальные преимущества автоэлектронного катода по сравнению с термоэлектронным, равно как и недостатки, препятствующие внедрению в настоящее время этого катода в технические и электронные приборы. Намечены возможные пути устранения этих недостатков. На основе рассмотрения опубликованных исследований докладчиком показано, что современное состояние работ в области автоэлектронной эмиссии характеризуется: 1) завершённой в общих чертах квантово-механической теорией автоэлектронной эмиссии металлов, выдержавшей всестороннюю экспериментальную проверку; 2) довольно хорошо развитой теорией автоэлектронной эмиссии полупроводников при совершенно недостаточном количестве экспериментальных работ в этой области; 3) сравнительно хорошей (но ещё не доработанной полностью) техникой получения относительно стабильных, воспроизводимых и долговечных автоэлектронных катодов, состояние которой делает реальной, в более или менее близкой перспективе, постановку вопроса об использовании автоэлектронной эмиссии в некоторых технических электронных приборах.

В докладе А. П. Комара и Ю. Н. Таланина «Опыты с электронными и ионными проекторами» приведены некоторые результаты, полученные при работе с электронным проектором с вольфрамовым остриём в условиях относительно плохого вакуума (10^{-7} — 10^{-8} мм рт. ст.). Показано, что форма острия в опытах авторов была такой же, как и в опытах при очень высоком вакууме. Часто наблюдалась авторами картина так называемого «ребристого» или «загрязнённого углеродом» острия. Она очень устойчива и не изменяется даже при высокотемпературных прогревах. Сделан вывод, что в случае «ребристого» острия авторы имеют дело с формой монокристалла, являющейся наиболее близкой к равновесной. Такую форму монокристалла почти никогда не удаётся получить в условиях очень высокого вакуума, однако она легко получается, если остриё загрязнено углеродом, который способствует образованию равновесной структуры. При сильных загрязнениях наблюдалось образование карбида вольфрама. Поверхность острия бывает загрязнена также остаточными газами и их соединениями с углеродом, образующими легко подвижные плёнки, наблюдаемые в проекторе. В этом случае загрязнения представляют собой двумерные кристаллы, превращающиеся при нагревании в двумерную жидкость. В случае особенно больших загрязнений при нагревании можно наблюдать, как плёнки слоями сходят с острия одна за другой. По мере очищения поверхности движение плёнок замедляется, а затем и вовсе прекращается.

И. Л. Сокольская доложила работу «Поверхностная миграция в электрическом поле и энергия связи атомов вольфрама», в которой с помощью электронного проектора изучался процесс поверхностной миграции атомов вольфрама на собственной решётке в электрическом поле. Докладчиком показано, что величина автоэлектронного тока при фиксированном напряжении может служить количественной характеристикой процессов изменения формы острия при его прогреве в электрическом поле или без поля. Показано также, что процесс «перестройки» протекает с одинаковой скоростью независимо от направления поля у острия. Произведено измерение температурной зависимости скорости перестройки в тормящем электроны поле, что позволяло предохранить острие от ионной бомбардировки и производить опыты в очень сильных полях без риска расплавить острие электронным током. Были определены также энергии активации процессов перестройки и сглаживания (2,36 и 3,2 эв соответственно). Интерпретация полученных результатов на основе представлений Странского и Френкеля позволила автору вычислить энергию взаимодействия двух ближайших соседей в решётке вольфрама.

ВТОРИЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ

С обзорным докладом «Вторичная электронная эмиссия (состояние и перспективы)» выступил Л. Н. Добрецов.

Явление вторичной электронной эмиссии можно рассматривать как состоящее из трёх последовательных процессов: а) возбуждения вторичных электронов, б) движения их к поверхности эмиттера и в) выхода возбуждённых электронов через границу тела наружу. Анализ существующих представлений о механизме возбуждения вторичных электронов приводит автора к выводу, что основным процессом, определяющим вид закона потерь энергии первичным электроном и, следовательно, возбуждения вторичных электронов в металле, являются внутренние переходы свободных электронов, количество же междузонных переходов мало. В диэлектриках возможны лишь междузонные переходы и возбуждение экситонов. Рассмотрение движения возбуждённых электронов к поверхности позволяет сделать вывод, что основным типом взаимодействия в металлах, определяющим вероятность выхода электронов к поверхности, является взаимодействие с электронами проводимости. Такое рассмотрение позволяет обосновать вид функции вероятности выхода вторичных электронов к поверхности, используемой часто в полуфеноменологических теориях, приводящих к известному «закону подобия». Используя предложенное им выражение для закона потерь в металле, автор получает видоизменённое «закон подобия», лучше согласующееся с экспериментами. Докладчик рассмотрел далее механизм выхода вторичных электронов к поверхности в диэлектриках, а также вопрос о выходе вторичных электронов через границу твёрдого тела наружу.

В дискуссии И. М. Дыкман, Н. Д. Моргулис, П. В. Тимофеев, А. И. Пятницкий и др. высказали ряд критических замечаний. Н. Г. Находкин привёл данные, характеризующие вторичную эмиссию из металлов, как происходящую, в основном, за счёт связанных электронов. Н. Л. Яснопольский выразил пожелание развивать работы, направленные на выяснение вида закона потерь.

В. Г. Тельковский сделал доклад «Вторичная электронная эмиссия металлов под действием ионов и нейтральных частиц». В работе приведены результаты экспериментального изучения вторичной электронной эмиссии чистых металлов (Mo, Zr, Ni, Ta, Cu) и графита под действием бомбардировки их поверхности ионами водорода, гелия, азота, неона, аргона и молибдена и нейтральными атомами инертных газов с энергией от нескольких кэв до 120 кэв. Опыты проводились на уста-

новке типа, большого масс-спектрометра с ионным дуговым источником с продольным магнитным полем. Давление остаточных газов в районе мишени во время измерений не превышало $3 \cdot 10^{-8}$ мм рт. ст. Температура мишеней при измерениях была в большинстве случаев порядка 1300—1500° С. Нейтральные частицы получались методом резонансной перезарядки. Автор показал, что при ничтожном загрязнении поверхности мишени коэффициент вторичной эмиссии γ существенно зависит от плотности потока ионов или нейтральных частиц. В работе установлено, что γ для всех исследованных ионов и мишеней линейно возрастает до скоростей $2 \cdot 10^8$ см/сек. Для больших скоростей (для протонов) наблюдается пологий максимум ($2,5 \cdot 10^8$ см/сек). Порог вторичной эмиссии отчетливо выражен, а величины пороговых скоростей слабо зависят от материала мишени и рода ионов. Распределение скоростей вторичных электронов — максвелловское, «температура» электронов не зависит от энергии падающих ионов и лежит в пределах 50 000—80 000°. γ строго пропорционален числу частиц, входящих в молекулярный ион. Величина заряда ионов не меняет γ , а вторичная эмиссия под действием нейтральных атомов совпадает с эмиссией под действием ионов. Следовательно, вторичная электронная эмиссия определяется только энергией падающей частицы, а не величиной заряда. Автор делает заключение, что общепринятая автоэлектронная теория вторичной электронной эмиссии не соответствует действительности.

А. Р. Шульман доложил работу «Вторичная электронная эмиссия диэлектриков», в которой изложены результаты экспериментального исследования с помощью импульсной методики вторичной электронной эмиссии Al_2O_3 , ThO_2 , щелочно-галогидных соединений и ряда других веществ. Автор показал, что основная характеристика вторичной эмиссии — кривая зависимости выхода от энергии первичных электронов — для диэлектриков имеет иной вид, чем для металлов. Во многих случаях имеется довольно широкий интервал энергий, в котором коэффициент вторичной эмиссии не зависит от энергии первичных электронов. Кривые распределения вторичных электронов по скоростям также свидетельствуют об ином механизме вторичной эмиссии у диэлектриков, чем у металлов. Автором были измерены температурные зависимости коэффициента вторичной эмиссии для ряда щелочно-галогидных соединений. Докладчик интерпретировал полученные им опытные данные, исходя из теоретических представлений о механизме взаимодействия электронов в веществе.

В другом докладе А. Р. Шульмана «Неупругое рассеяние электронов в твердых телах» приведены результаты экспериментального исследования закономерностей неупругого рассеяния электронов твердыми телами. Особое внимание автор обратил на чистоту поверхности вещества. Для этой цели была разработана методика быстрого получения данных о распределении электронов, рассеянных твердым телом, по энергиям. Докладчик сообщил, что спектр неупругого рассеяния электронов представляет собой наложение непрерывного и дискретного спектров, а характеристический спектр неупруго рассеянных электронов может быть описан в приближении слабо связанных электронов.

Д. А. Городецкий в докладе «Отражение медленных электронов от поверхности чистого и покрытого адсорбированными пленками металла» сообщил, что им было проведено изучение коэффициента отражения электронов с энергиями в интервале от 2 до 10 эв от поверхностей поликристаллического и монокристаллического вольфрама как чистого, так и покрытого адсорбированными пленками бария и кислорода, а также и от поверхностей бария и серебра. Измерения проводились при суммарном давлении порядка $3 \cdot 10^{-9}$ мм рт. ст. и давлении конденсирующейся компоненты 10^{-10} мм рт. ст. Автором показано, что коэффициент отражения электронов гораздо сильнее зависит от чистоты поверхности метал-

ла, чем работа выхода. Зависимость коэффициента отражения от энергии для вольфрама не совпадает с ходом теоретической кривой: наблюдается рост этого коэффициента с ростом энергии электронов. Для толстых слоёв серебра и бария, нанесённых на вольфрам, наблюдается нормальный ход коэффициента отражения — уменьшение отражения с ростом энергии. Адсорбированная плёнка Ва одновременно с уменьшением работы выхода резко увеличивает отражение в области малых энергий. Коэффициент отражения в этой области проходит через максимум при увеличении концентрации адсорбированных атомов в плёнке. Максимум соответствует оптимальному покрытию. Это качественно согласуется с представлениями об образовании максимума потенциального барьера при осаждении активной плёнки. Плёнка кислорода на вольфраме увеличивает отражение, не меняя хода кривой. Установлена корреляция между порогом неупругого отражения и работой выхода металла.

У. А. Арифов доложил выполненную совместно с А. Х. Аюхановым работу на тему «Некоторые результаты исследования вторичной эмиссии металлов под действием бомбардировки ионами, полученные осциллографическим методом двойной модуляции», в которой с помощью разработанного авторами совместно с С. В. Стародубцевым метода двойной модуляции проведено изучение распределения по энергиям вторичных токов и коэффициента вторичной эмиссии в зависимости от массы атомов и температуры мишени, плотности атомов в адсорбированных плёнках, от энергии первичных ионов и других физических параметров при бомбардировке положительными ионами Li, Na, K, Rb, Cs и Ва мишеней из W, Ta, Mo и Ni и плёнок щелочных металлов. Показано, что в случае отсутствия загрязнений на поверхности коэффициент вторичной эмиссии для этих металлов очень мал ($\gamma < 1\%$).

Доклад В. Н. Лепешинской был посвящён вопросу «О некоторых аномалиях характеристик вторичной электронной эмиссии магниевых сплавов». Докладчик сообщил, что кривые задержки для вторичных электронов при работе с активированными магниевыми сплавами, обладающими большими коэффициентами вторичной эмиссии, имеют аномальный характер: насыщение наступает при значительных положительных потенциалах. Сравнительные измерения разными методами (статическим, а также методами одиночных периодических импульсов) показали, что эти методы дают одинаковые результаты. Лишь при нагревании мишени в момент измерений до температуры порядка 400°C насыщение кривой задержки наступает около $+1$ в. Автором сделана попытка интерпретации полученных результатов.

На совещании был также заслушан доклад В. С. Кульварской «Сплавные никелевые вторичные катоды».

ФОТОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ

С обзорным докладом «Эмиссия электронов со сложных поверхностей (состояние и перспективы)» выступил П. В. Тимофеев.

Количественная теория сложных эмиттеров, состоящих из щелочных или щёлочно-земельных металлов и их соединений с кислородом или другими веществами, находится в зачаточном состоянии. Экспериментальными исследованиями показано, что величина эмиссии электронов зависит от структуры поверхностного слоя эмиттера и, в частности, от количества свободного щелочного и щёлочно-земельного металла, содержащегося в нём. При соответствующих условиях на поверхностях сложных эмиттеров в процессе излучения ими электронов возникают, по мнению автора, положительные заряды, оказывающие существенное влияние на эмиссию электронов. В результате этого получают большие коэффициенты вторичной эмиссии, возникают аномальные явления, наблюдаю-

щиеся в автоэлектронной эмиссии с кислородно-цезиевых фотокатодов, и происходят другие процессы, как, например, утомление кислородно-цезиевых фотокатодов. Распределение уровней энергии электронов в поверхностном слое существенно отличается от распределения этих уровней в толще эмиттера. Толщина поверхностного слоя, из которого происходит эмиссия электронов, в большинстве случаев не превышает 10^{-6} см, а следовательно, эмиссия электронов должна определяться поверхностными уровнями.

Автор отмечает, что поэтому нельзя согласиться с представлениями о механизме эмиссии, основанными на энергетической схеме, справедливой для внутренних слоёв, и, в частности, с некоторыми заключениями об эмиссионных свойствах, сделанными на основании измерения электропроводности. В заключение автор подчеркнул, что эмиттеры типа кислородно-цезиевого при больших градиентах электрического поля у их поверхности при температуре 20°C могут эмиттировать положительные ионы.

В работе П. Г. Борзяка, В. Ф. Библика и Г. С. Крамаренко «Особенности фотоэффекта серебряно-кислородно-цезиевых катодов» авторы старались выяснить роль в свойствах серебряно-кислородно-цезиевого фотокатода его структурных компонент: окиси цезия и монокристаллов серебра. На основании изучения некоторых оптических и фотоэлектрических свойств сначала раздельно дисперсных серебряных плёнок с уменьшенной работой выхода и кислородно-цезиевых плёнок, а затем кислородно-цезиевых плёнок с внесённым серебром авторы пришли к заключению, что серебряно-кислородно-цезиевый фотокатод нельзя рассматривать просто как плёнку примесного полупроводника, фотоэлектрические свойства которого определяются атомарной примесью цезия и серебра. По их мнению, серебряно-кислородно-цезиевый катод является составным, состоящим из двух: полупроводникового кислородно-цезиевого, определяющего чувствительность составного катода в ультрафиолетовой области, и дисперсно-металлического, определяющего чувствительность составного катода в длинноволновой области.

Ю. А. Шуба доложил работу «Внешний фотоэффект из сернистого кадмия». Произведённым автором измерением фотоэлектронной эмиссии из сернистого кадмия показывают, что распределение фотоэлектронов по энергиям не зависит от энергии возбуждающих квантов в области от 2500 до 1900 Å. Характеристики внешнего фотоэффекта в этой области спектра значительно изменяются при одновременном облучении видимым светом. Подсветка в области основного оптического поглощения сернистого кадмия уменьшает на несколько десятых долей электрон-вольта термоэлектронную работу выхода и красную границу фотоэффекта и увеличивает квантовый выход (на порядок величины вблизи порога фотоэффекта). Противоположные изменения спектральных и вольт-амперных характеристик происходят при более длинноволновой подсветке. Эти изменения эмиссии, повидимому, обязаны внутреннему фотоэффекту, происходящему под действием подсветки. Они наблюдаются также у эмиттеров из очувствлённых слоёв сернистого свинца. Автор считает, что возможное объяснение характера распределения электронов по энергиям заключается в экситонном возбуждении электронов.

В доложенном от имени Л. Н. Быховской докладе «Влияние электронной бомбардировки на фотоэлектрическую эмиссию сложных фотокатодов» показано, что бомбардировка поверхности кислородно-цезиевых полупрозрачных катодов с интегральной чувствительностью меньшей чем 20 мка/лм , приводит к сильному возрастанию фотоземиссии в длинноволновой области спектра ($\lambda > 600 \text{ м}\mu$). Возрастание фототока после бомбардировки характеризуется резким максимумом (эмиссия возрастает в 30—40 раз) в области 950—1150 $\text{м}\mu$ и небольшим максимумом при 700 $\text{м}\mu$. Увеличение чувствительности катодов возрастает с ростом плотности тока

бомбардирующих электронов, а также с ростом времени бомбардировки; оно пропорционально количеству электрического заряда, полученного катодом во время бомбардировки. Возвращение чувствительности к исходному значению при освещении катода длинноволновым светом происходит за несколько часов, а под действием света с $\lambda < 500 \text{ м}\mu$ — за несколько секунд. Бомбардировка катодов с интегральной чувствительностью, большей, чем 20 мка/лм , вызывает небольшое уменьшение чувствительности в длинноволновой области. Показано, что возрастание эмиссии этих катодов при бомбардировке связано с наличием на их поверхности окиси цезия. Чувствительность сурьмяно-цезиевых катодов в результате электронной бомбардировки не увеличивается. Делается вывод, что существующие представления о механизме фотоэмиссии сложных катодов не дают в настоящее время полного объяснения наблюдавшимся явлениям.

Б. И. Дятловицкая сделала доклад «Фотоэффект сурьмяно-цезиевых катодов, сенсibilизированных кислородом», в котором изложила результаты исследования оптических и фотоэлектрических свойств сурьмяно-цезиевых катодов, сенсibilизированных кислородом. Докладчик установила, что сенсibilизация: 1) не сказывается заметным образом на оптических свойствах сурьмяно-цезиевых слоёв, 2) приводит к значительному возрастанию фотоэмиссии во всём исследованном спектральном интервале (400—730 $\text{м}\mu$). Эти результаты рассматриваются как свидетельство того, что сенсibilизация приводит к снижению потенциального барьера $\Delta = 0,1 \text{ эв}$. Последнее в силу собственного характера фотоэффекта приводит к значительному возрастанию фотоэмиссии. При обработке катода кислородом в количестве, значительно большем, чем это необходимо для оптимальной сенсibilизации (отравление), наблюдается изменение оптических характеристик катода, т. е. происходит изменение структуры катода.

В работе В. М. Гаврилюка «Влияние адсорбции дипольных молекул окиси бария на фотоэмиссию сурьмяно-цезиевого катода» сделана попытка управления работой выхода и фотоэмиссией полупроводникового сурьмяно-цезиевого катода путём адсорбции на его поверхности дипольных молекул окиси бария. Автором установлено, что адсорбция молекул окиси бария в оптимальном приводит к уменьшению работы выхода катода примерно на $0,1 \text{ эв}$ и увеличению фототока примерно в 1,5 раза. Сравнение результатов работы с данными Б. И. Дятловицкой (предыдущий доклад) позволило автору сделать вслед за Г. А. Морозовым и Б. И. Дятловицкой заключение, что механизм сенсibilизации кислородом сурьмяно-цезиевого катода состоит в образовании на поверхности катода дипольных молекул окиси цезия.

Н. М. Политова сделала доклад «Исследование кинетики фотоэлектронов из сурьмяно-цезиевого катода». Докладчик указал на несоответствие в величинах работы выхода, вычисленных из уравнения Эйнштейна, с фотоэлектронной работой выхода, определённой по красной границе фотоэффекта для сурьмяно-цезиевого катода. Первая величина заметно меньше последней, и увеличивается с увеличением энергии квантов. Это показывает, что величина максимальной энергии фотоэлектронов не соответствует обычным представлениям о механизме фотоэффекта из сурьмяно-цезиевого катода.

РАБОТА КАТОДА В УСЛОВИЯХ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКИ И ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Г. В. Спивак, И. Н. Прилежаева и В. Е. Юрасова выступили с докладом «О процессах на металлической поверхности при катодном распылении», в котором приведены результаты исследования микро-рельефа, возникающего на поверхности металла при катодном распылении. Авторами показано, что при этом, в результате повышенной мигра-

ции, а также конденсации на поверхности металла возникают террасы, ограниченные равновесными плоскостями, что согласуется с теорией роста кристаллов. Показана возможность применения катодного распыления для выявления структуры металла, в том числе и при повышенных температурах образца. Исследовано также влияние чистоты газа на процесс ионного травления.

Н. Д. Моргулис и В. Д. Тищенко в докладе «Катодное распыление в припороговой области» сообщили о произведённом ими с помощью метода меченых атомов исследовании порога катодного распыления целого ряда металлов ионами Ag и He. В работе показано, что пороговые энергии имеют весьма небольшие значения (3—20 эв), которые гораздо меньше соответствующих значений, приводимых в последнее время в литературе. Установлена корреляция между величиной пороговой энергии и теплотой испарения распылённого металла. Авторы получили также данные, свидетельствующие о зависимости пороговой энергии от массы распыляющего иона и о независимости её от массы атомов распыляемого металла.

Е. М. Белавцева доложила выполненную совместно с А. И. Фриммер и А. М. Герасимовой работу «Электронно-микроскопическое исследование структуры фотокатодов, подвергнутых воздействию газового разряда». Авторы показали, что под воздействием несамостоятельного газового разряда кислородно-цезиевые и сурьмяно-цезиевые катоды обнаруживают незначительные изменения структуры и изменение чувствительности. Тлеющий разряд сильно разрушает поверхность катодов и вызывает полную потерю чувствительности. После действия этого разряда поверхность сурьмяно-цезиевого катода имеет ясно выраженную дисперсную структуру недоработанного катода. Толстые висмута-цезиевые катоды обнаруживают глубокие структурные изменения и увеличение чувствительности. Несамостоятельный разряд вызывает измельчение кристаллов. Тлеющий разряд вызывает выявление структуры и оплавление кристаллов. Освещённые участки разрушаются сильнее неосвещённых. Частицы распылённого материала образуют фотокатод с достаточно большой чувствительностью и высокодисперсной структурой.

В докладе Э. М. Рейхруделя и А. Г. Зимелева «Свойства катода с поджигающим устройством в импульсном разряде при низких давлениях» были приведены некоторые результаты исследования эмиссионных и электронно-оптических свойств холодного катода с поджигающим устройством и указаны возможности его применения в импульсной электронике. Холодный катод с поджигающим устройством в высоковольтных электронных приборах позволяет в микросекундном импульсном режиме получать токи порядка 1000 а. Плотность тока достигает $10^4 \text{ а} \cdot \text{см}^{-2}$. Катод может работать в высоком вакууме и в широком диапазоне давлений газа (от 10^{-6} до 10^{-1} мм рт. ст.). Авторами показана возможность управления в начальной фазе развития разряда интенсивным электронным пучком при помощи полей, действующих вблизи поверхности катода, и предложен метод расчёта диаметра пучка. Катод использован для создания мощных импульсных острофокусных рентгеновских трубок, а также в импульсном газоразрядном источнике ионов. Катод в виде диска из молибдена диаметром 3 мм работал длительное время, выдержав более 300 000 импульсов.

На совещании был заслушан также доклад В. Г. Грановского и Н. Б. Розановой «Явления на электродах при мощном высоковакуумном пробое».

В заключение своей работы Совещание приняло развёрнутое решение, в котором намечены основные задачи работников науки и техники в области катодной электроники.

В. М. Гаврилюк