СЪЕЗДЫ И КОНФЕРЕНЦИИ

СОВЕЩАНИЕ ПО ВОПРОСАМ ВТОРИЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ И ФОТОЭФФЕКТА

I. 20—22 января 1939 г. в Ленинграде, в клубе ученых в Лесном, происходили заседания Совещания по вопросам вторичной эмиссии и фотоэффекта, созванного Кафедрой экспериментальной физики Инженерно-физического факультета Ленинградского индустриального института по инициативе проф. П. С. Тартаковского.

На этом совещании было сделано более двух десятков докладов и сообщений, с которыми выступили работники различных лабораторий Ленинграда, Москвы и Киева. Количество докладов обнаруживает рост в несколько раз по сравнению с аналогичными совещаниями, проводившимися в 1936 и 1937 гг. Этот рост оказывается еще более значительным, если сравнить тематику докладов настоящего и предшествующих совещаний, так как данное совещание целиком было посвящено принципиальным вопросам, и на нем лишь вскользь были затронуты вопросы прикладного и технологического порядка. Все это свидетельствует о широком развитии научной деятельности в нашей стране, и поскольку подавляющее большинство докладов принадлежало молодым научным работникам,— о том, что в науку приходят все новые и новые молодые кадры.

Значительный прогресс по сравнению с прошлыми годами обнаружился и в другом аспекте. Если раньше на подобных совещаниях докладывались исключительно результаты экспериментальных исследований, что было вполне естественно, поскольку широкий интерес к вторичной эмиссии и фотоэффекту возник на основе требований практики, то здесь было доложено уже значительное число работ теоретического характера. Точно так же, если ранее объектами исследований по вторичной эмиссии являлись исключительно сложные поверхности, как представляющие практический интерес, то теперь, хотя сложные поверхности и стояли в центре внимания, обнаружился значительный интерес и к изучению чистых металлов. Таким образом налицо имеется существенное расширение области исследований и значительно более полный охват проблемы.

Совещание показало, что в данной области, во всяком случае, поскольку можно судить по заграничной научной периодике, советской науке принадлежит ведущее место как в отношении объема работы, так и в смысле разнообразия и разносторонности исследований. Вместе с тем необходимо отметить и некоторые дефекты в постановке работы. Сюда относятся зачастую чрезмерно простая, чтобы не сказать примитивная, экспериментальная техника, а также недостаточная техническая оснащенность некоторых лабораторий. В частности, отметим, что, как правило, при исследованиях фотоэффекта работники не пользуются монохроматорами — за отсутствием таковых. Вряд ли нужно доказывать, что такое положение крайне неудовлетворительно и неизбежно отражается на качестве и продуктивности работы. Нам кажется, что на это обстоятельство должны обратить серьезное внимание организации, производящие соответствующее оборудование, с тем, чтобы сделать спектральную аппаратуру и чувствительные электроизмерительные приборы более доступными нашим лабораториям как в отношении возможности приобретения их, так

и в смысле стоимости. Не следует забывать того, что на иностранных рынках вся эта аппаратура имеется в изобилии и по сравнительно доступным ценам и что нет решительно никаких оснований к тому, чтобы наша промышленность, успешно осваивающая несравненно более сложные производства, отставала на этом участке.

Наконец, опыт этой конференции показал, что темпы работы наших научных журналов, печатающих иной раз статьи через 8—9 месяцев после их получения редакцией, сильно отстают от темпов работы лабораторий. Это обстоятельство не дает возможности научной печати выполнять ее организующую роль. С особой ясностью это проявляется при анализе сделанных на конференции докладов по фотоэффекту. Дело в том, что, за исключением сообщений обзорного характера, все доклады по вопросам фотоэффекта касались сурьмяно-цезиевых катодов, что понятно, если принять во внимание тот большой принципиальный и практический интерес, который эти катоды представляют.

Между тем из трех сообщений, полностью посвященных Sb—Cs-фотокатодам, только одно являлось существенным шагом вперед. Остальные же два представляли собой не более чем описание их свойств на основе более или менее удачных опытов, в основном представляющих собой повторение того, что уже было сделано ранее. Не подлежит сомнению, что если бы работы появлялись из печати в более короткие сроки, это дало бы возможность гораздо плодотворнее строить работу всех лабораторий.

II. Вводный доклад С. Ю. Лукьянова был в основном посвящен классификации фотокатодов и эмиттеров по их строению, краткому обзору экспериментальных данных и сравнению с результатами теории. В конце был сделан ряд замечаний по вопросу о Sb—Cs-фотокатоде, из которых следует отметить указание на высокое значение квантового выхода в области селективного максимума, достигающего 30%.

Доклад проф. П. В. Тимофеева содержал изложение взглядов школы де-Бура на механизм эмиссии кислородно-серебряно-цезиевых фотокатодов, а также ряд соображений в пользу допущения, что Sb—Cs-катоды должны также быть отнесены к типу обычных сложных катодов. Вторая часть доклада была посвящена вторичной эмиссии сложных поверхностей, о чем речь будет далее.

Б. И. Дятловицкая сообщила о работе с Sb — Cs-катодами в ФИАН УССР. По проведенным там измерениям удельное сопротивление этих слоев имеет порядок 1 $\Omega \cdot см$. По температурной зависимости сопротивления работа ионизации элементов структуры слоя была определена в 0.3 V. Тем не менее, внутреннего фотоэффекта в области длинных волн обнаружено не было. В дискуссии было указано, что отсутствие внутреннего фотоэффекта должно быть приписано условиям опыта (низкое напряжение). По данным этой работы утомление у Sb—Cs-катодов отсутствует.

Ю. И. Лунькова в своем сообщении указала, что Sb—Cs-катоды обнаруживают утомление, а также привела данные о вольт-амперных характеристиках при различных световых потоках. Сущность этих результатов сводится к тому, что по мере роста светового потока (в действительности — его плотности, т. е. освещенности) напряжение насыщения повышается.

Н. С. Хлебников по вопросу о структуре сурьмяно-цезиевых слоев сообщил, что непосредственное определение отношения содержания Sb и Cs дает отношение числа атомов Sb к числу атомов Cs, равное 1 : 3,1—1 : 3,2. Это согласуется с известными для Sb значениями отрицательной валентности (2 и 3) и показывает, что этот слой представляет собой соединение $Sb\,Cs_3$. Избыток же Cs должен быть, помимо ошибки в определении, отнесен за счет наличия свободного цезия в объеме слоя (равно как и за счет адсорбированной на его поверхности пленки Cs).

Особенный интерес представляло, к сожалению краткое сообщение С. С. Прилежаева, доложившего о своей работе, в которой была подробно исследована роль поверхности сурьмяно-цезиевого катода в его

фотоэмиссии. Исследование связи между степенью покрытия поверхности цезием, его работой выхода и интегральной чувствительностью, а также изучение распределения фотоэлектронов по энергиям привело автора к мысли о том, что свойства этого фотокатода целиком определяются поверхностью.

В дискуссии было указано, что этот взгляд встречает некоторые трудности, в частности не согласуется с высоким значением квантового выхода. Позднее, в личной беседе С. С. Прилежаев сообщил автору этих строк, что, придавая исключительное значение условиям на поверхности, он допускает объемный характер фотоэффекта и считает, что распределение электронов в слое является не-фермиевским.

Таким образом можно считать, что Sb—Cs-фотокатоды имеют своей основой структуру решетки Sb_2Cs_3, в которой присутствует свободный цезий, и на поверхности имеется адсорбированная цезиевая пленка; фотоэффект носит объемный характер; повидимому, иногда наблюдается утомление катода, механизм которого еще не представляется достаточно ясным.

III. Оживленная дискуссия развернулась по вопросу общих представлений о вторичной эмиссии вследствие того, что по этому вопросу были высказаны две совершенно различные точки зрения. Первая из них, развиваемая Н. Д. Моргулисом и Н. С. Хлебниковым, претендует на достаточно широкие обобщения для того, чтобы считаться некоей качественной схемой теории явления в полном объеме. Как известно, в основе взглядов этих авторов лежит рассмотрение процессов образования вторичных электронов в эмиттирующем слое, их движения в толще эмиттера и процесса пополнения испущенных электронов, причем основным физическим фактором, характеризующим материал в отношении вторичной эмиссии, оказывается концентрация электронов проводимости. Из этого, в частности, вытекает, что большие коэфициенты вторичной эмиссии можно наблюдать (в надлежащих условиях) только на полупроводниках и диэлектриках и никогда — на чистых металлах. Качественные выводы и предсказания, сделанные на основе этой точки зрения, полностью согласуются с существующим экспериментальным материалом. Так например (как это было доложено Н. С. Хлебниковым), для электронных полупроводников наблюдается ход температурной зависимости, отличающийся наличием максимума при некотором значении температуры, тогда как для ионных полупроводников (данные Вудынского) эта зависимость выражается кривой с насыщением. С другой стороны, Н. Д. Моргулисом был приведен приближенный подсчет потерь энергии возникшими вторичными электронами в результате различных типов взаимодействия с решеткой и свободными электронами эмиттера, который показал, что наиболее значительными являются потери вследствие кулонова взаимодействия.

Другая точка зрения была сформулирована П. В. Тимофеевым во второй части его упоминавшегося выше доклада. Его взгляды, претендовавшие не более чем на объяснение высокой вторичной эмиссии сложных катодов, на этот раз сводились к тому, что высокие значения σ обусловливаются тремя причинами: 1) существованием потенциальных барьеров, которые образуются на границе между частицами металла и частицами диэлектрика и, возможно, в трещинах, 2) существованием каналов (трещин) в катоде, куда могут вырываться электроны, извлекаемые затем наружу дополнительным полем, возникающим вследствие 3) образования зарядов на поверхности катода (подобно Малтер-эффекту). Как известно, ранее П. В. Тимофеев приписывал все свойства сложных поверхностей только фактору (1). Характерной особенностью всех трех выдвинутых положений является отмеченное в дискуссии отсутствие каких-либо непосредственных экспериментальных доказательств предполагаемого их влияния нужного знака на вторичную эмиссию. Наличие потенциальных барьеров в толще слоя, как это, в частности, следует из выступления самого П. В. Тимофеева в дискуссии, должно являться препятствием для высокой вторичной эмиссии, так как эти барьеры более эффективны для рассеяния медленных электронов, чем для быстрых.

Критика П. В. Тимофеева в отношении первой из упомянутых точек зрения на этот раз основывалась на опытах Каца, обнаружившего, что медленные электроны (10—15 V) проходят сквозь тонкие металлические пленки с меньшим рассеянием, чем быстрые (~ 100 V). Но даже оставив в стороне законные сомнения в достаточной сплошности столь тонких пленок, с какими работал Кац, из этих опытов никак не следует вывод о том, что медленные (с энергиями порядка вольт) электроны не теряют энергию через кулоново взаимодействие с электронами проводимости. Кроме того, данные Каца (полученные при прохождении пучка сквозь пленку) не могут быть непосредственно приложены к обычному случаю вторичной эмиссии, так как в этом последнем случае, помимо потерь энергии, необходимо иметь в виду еще и процессы, связанные с изменением начального распределения возникших вторичных электронов по углам.

Из других сообщений в настоящем разделе нужно упомянуть о докладах Кубецкого, Пятницкого и Фримера.

Л. А. Кубецкий в своем докладе высказал предположение о том, что высокую вторичную эмиссию можно получить, используя эмиттеры, составленные наподобие цезиевого из одного из щелочных металлов, одного из тяжелых металлов I группы периодической системы (Cu, Ag, Au) и одного из следующих элементов VI группы: O, S, Se, Te (что дает, очевидно, 60 комбинаций), и затем описал технологию и свойства одной такой комбинации (Cu—S—Cs).

А. И. Пятницкий доложил о работе по исследованию зависимости коэфициента вторичной эмиссии от плотности первичного пучка. В этой работе было установлено, что с ростом плотности первичного пучка коэфициент вторичной эмиссии падает. Однако если повысить напряжение коллектора, то σ тоже возрастает. Пятницкий объяснил это «изменениями свойств поверхности», не уточнив, что это за изменения.

А. И. Фример сообщил о результатах измерения коэфициента вторичной эмиссии и распределения вторичных электронов по энергиям для закиси меди. В случае обезгаженной закиси меди σ_{max} не превышает 1,5 (V_p = 400—500 V); слой закиси, в котором имеется свободный кислород, дает более высокую вторичную эмиссию. Распределение электронов по энергиям не обнаруживает существенных отличий от распределения для металлов. В дискуссии было отмечено, что способ получения слоя Cu_2O не был безукоризненным, и потому осталось неясным, в какой мере изложенное свойственно именно закиси меди.

IV. В связи с тем особым положением, которое среди прочих веществ занимают в явлениях фотоэффекта и вторичной эмиссии полупроводники и диэлектрики, теории этих веществ было посвящено три доклада.

Доклад П. С. Тартаковского носил обзорный характер и содержал изложение различных точек зрения (взгляды школы Поля, Тартаковского, Френкеля и др.) на движение зарядов внутри решеток этих веществ. Докладчик отметил, что толкование явлений в духе одной какой-нибудь точки зрения не является, как правило, в достаточной мере исчерпывающим, и указал на возможность синтеза точки зрения, развитой в работах Поля (основой которой является представление о сдвиге электронов), с точкой зрения энергетических зон.

Краткое сообщение Э. М. Центера касалось теоретической оценки эффективного сечения возникновения вторичных электронов (рассматриваемого как переброс электрона из полосы занятых уровней в полосу проводимости) в случае диэлектрика как чистого, так и содержащего вкрапления. Из приведенных данных следует, что эффективное сечение оказывается одного порядка и для электронов вкраплений и для электронов самой решетки. В применении к вторичной эмиссии сложных поверхностей это означает, что, поскольку концентрация вкраплений весьма низка ($\sim 10^{-6}$), источниками возникающих вторичных электронов в основном должен быть сам диэлектрик.

В своем докладе Н. П. Писаренко остановил внимание совещания на тех усовершенствованиях блоховской теории кристаллов, необходимость которых возникла в результате новейших исследований, в частно-

сти из данных о температурной зависимости спектрального распределения чувствительности (положения длинноволновой границы) куприта и хлористого серебра.

V. Из докладов, касающихся вторичной эмиссии чистых металлов, один содержал изложение экспериментального исследования (вторичная эмиссия олова в зависимости от структуры металла) и два были посвящены теории вторичной эмиссии.

В доложенной Морозовым работе были установлены скачкообразные изменения вторичной эмиссии олова при переходах из β- в γ-модификацию, а также — при плавлении.

Теории вторичной эмиссии металлов, предложенные А. Вяцкиным и А. Е. Кадышевичем, весьма существенно различались друг от друга.

Вяцкин вполне основательно указал на ряд недостатков в теории Фрелиха. Но в то же время сам он построил свою теорию на весьма шатком основании (подвергшемся в дискуссии заслуженной критике), а именно на допущении, что вторичная эмиссия металлов представляет собой чисто поверхностный эффект. Одним из следствий этого явилось отсутствие максимумов на кривых $\sigma = f(V_p)$, полученных вычислением, что противоречит опыту.

Теория Кадышевича была построена, как теория объемного эффекта. Здесь, в отличие от Вяцкина, пользовавшегося зоммерфельдовской моделью металла и методом Борна, в качестве процесса возникновения рассматривались парные кулоновы столкновения между первичным электроном и электронами металла и учитывалось рассеяние возникших вторичных электронов в толще эмиттера. Наличие максимума на кривых $\sigma = f(V_p)$ непосредственно следует из различия в длинах пробегов первичных и возникших вторичных электронов. Таким образом скелет этой теории не отличается от качественной схемы, предложенной Хлебниковым и Моргулисом.

В весьма оживленной дискуссии по поводу двух последних докладов было высказано несколькими лицами (Давыдов, Тимофеев) мнение, к которому можно присоединиться и которое сводилось к тому, что вполне законченная теория явления должна представлять собой компромисс между обеими точками зрения, причем роль поверхности (что следует из всего наличного экспериментального материала) должна быть учтена в качестве некоторой поправки при объемной трактовке вопроса.

VI. В целой группе докладов (Ю. М. Кушнир, Н. Н. Борзяк, А. А. Равдель) рассматривались явления, возникающие при одновременном действии на эмиттер двух возбуждающих агентов (свет и электронный пучок, два электронных пучка различных скоростей). Целью этих работ была проверка опытов Дембера и Шмакова, обнаруживших отсутствие аддитивного суммирования токов эмиссии, вызываемых каждым из факторов. Однако все доложенные эксперименты не дали вполне определенного ответа даже на вопрос о существовании этих эффектов, и в дискуссии мнения разделились.

VII. Как выяснилось в дискуссии, в повестку дня конференции по тем или иным причинам оказались невключенными сообщения о работах, представляющих несомненный интерес и значение. К числу их следует отнести, например, работу Н. Л. Яцопольского по теории вторичной эмиссии, дальнейшие исследования М. М. Вудынского по вторичной эмиссии диэлектриков и др. Таким образом это совещание, продемонстрировав значительный прогресс в данной области, все же не представляет собой полного отражения всего объема работ, ведущихся по этим вопросам в Союзе.

В заключение нам хочется подчеркнуть своевременность инициативы проф. П. С. Тартаковского и пользу, принесенную широким обменом мнений,— обстоятельства, с признательностью отмеченные на заключительном заседании совещания.

Н. Хлебников, Москва