

РЕФЕРАТЫ

ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОГРАММ ПРИ ПОМОЩИ ВТОРИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

В своем докладе на последнем съезде германских физиков и математиков Кнольль*, известный своими работами по катодному осциллографированию и в частности по разработке электронного микро-

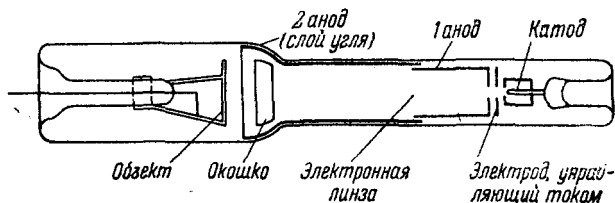


Рис. 1. Схема и внешний вид трубки, применявшейся при исследованиях

скопа с магнитными линзами**, сообщил о видоизменении методики электронографирования, заключающейся в использовании для получения электронограмм вторичной электронной эмиссии, излучаемой объектом, помещенным в брауновскую трубку и облучаемым электронным пучком.

Кнольль пользовался трубкой, схема и вид которой изображены на рис. 1. Обычная трубка, содержащая, кроме катода, анод и облучаемый пучком объект, подвергающийся исследованию, имела второй анод, выполненный в виде слоя угля, осажденного на внутренних стенках трубки.

Благодаря бомбардировке объекта пучком первичных электронов и эмиссии вторичных электронов с поверхности объекта объект при-

* М. Кнольль, Phys. Z., 36, 861, 1935.

** См. «Успехи физич. наук».

обретает некоторый потенциал относительно анода, зависящий от геометрической формы системы электродов, определяющей распределение поля между объектом и вторым анодом, от электрических условий эксперимента и, как будет показано ниже, от материала облучаемого объекта. Все опыты велись с объектом, имевшим форму плоского диска. Прежде всего исследовалась зависимость предельного напряжения U_g (относительно анода), получаемого на объекте в зависимости от скорости первичных электронов. На рис. 2 сверху изображены эта зависимость для трех веществ — никеля, молибдена и углерода, причем по оси абсцисс отложено анодное напряжение U_a . Характеристика для углерода является прямой, идущей под углом 45° к оси абсцисс (при равных масштабах по осям); характеристики для Mo и Ni при весьма малых анодных напряжениях совпадают с характеристикой для C, затем резко падают, почти совпадая с осью абсцисс (U_g принимает величину порядка 1 V), и затем снова начинают расти лишь при U_a , близких к 2 kV. Эти кривые получены при внешнем сопротивлении между объектом и вторым анодом, значительно превышающим внутреннее сопротивление. Если же внутреннее сопротивление близко к внешнему или превосходит его, то благодаря утечке получается напряжение U_p , конечно, меньшее, чем U_g , но пропорциональное ему.

Аналогичные кривые, характеризующие напряжение на объекте, отсчитываемое относительно катода, изображены внизу рис. 2. Одновременное измерение вторичной электронной эмиссии (при этом на объект давалось вспомогательное отрицательное напряжение в 100 V относительно анода) дало результаты, изображенные на среднем графике рис. 2, где по оси абсцисс отложено отношение числа первичных электронов i_s к числу первичных i_{pr} . Эти кривые доказывают, что отрицательный потенциал относительно анода приобретает объект лишь в том случае, когда выход вторичных электронов характеризуется коэффициентом, меньшим единицы. Установив значительные различия в поведении молибдена и никеля, с одной стороны, и углерода, с другой, Кюоль, не вдаваясь в детальные исследования физической стороны явления, попытался применить его для практических целей.

На диске из чистого никеля была нанесена полоска угля (рис. 3), первичный электронный пучок отклонялся в направлении, указанном на рисунке магнитным полем (частота 50 герц), и при помощи катодного осциллографа снималась кривая напряжения U_p между анодом и

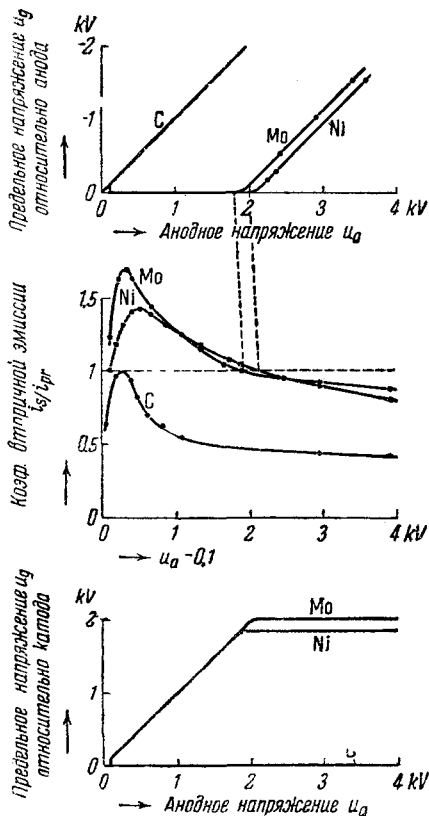


Рис. 2. Предельное напряжение и вторичная эмиссия однородных пластин из никеля, молибдена и углерода

объектом при разных значениях U_a . На осциллограммах, приведенных внизу рис. 3, видно, что при попадании электронного пучка на никель и $U_a < 1500$ В не возникает никакого напряжения U_p , при переходе же пучка на угольную полоску, объект сейчас же заряжается отрицательно. При $U_a > 1500$ В заряжается и никель, но потенциал угля остается более высоким. Благодаря значительной величине внешнего сопротивления скачкообразное возрастание потенциала при переходе пучка от никеля к углю заменяется экспоненциальным нарастанием, что вполне понятно, поскольку наша система представляет некоторую емкость и обладает известным (довольно большим)

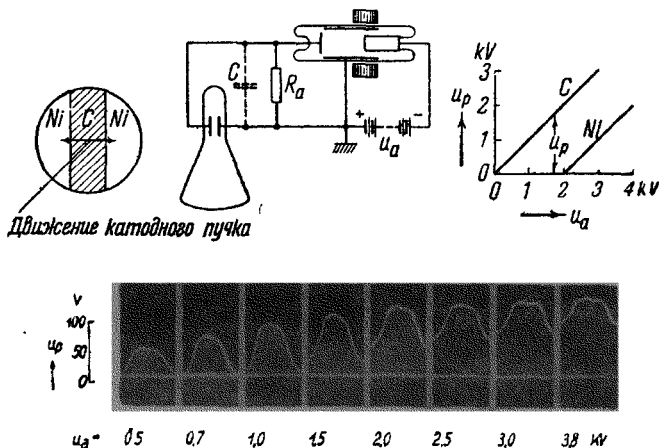


Рис. 3. Напряжение на никелевом диске с полоской из угля при периодическом движении электронного пучка

сопротивлением. Поскольку кривые, изображенные на рис. 3, свидетельствуют о возможности судить о неоднородности поверхности объекта по ходу кривой вторичной эмиссии, постольку естественно попытаться применить этот метод для получения электронного изображения объекта, создающего вторичную эмиссию.

Однако получение неискаженных изображений будет возможно лишь при условии более быстрого изменения напряжения при переходе пучка через границу неоднородности. Поскольку уменьшение емкости системы имеет свои границы, приходится сильно уменьшать внешнее сопротивление. Но тогда мы будем работать вдали от предельных напряжений, и отклонение катодного пучка осциллографа будет определяться уже не значениями U_g , но разностью токов вторичной эмиссии различных веществ, находящихся на поверхности объекта (рис. 4). Кроме того, получающиеся напряжения U_p будут малы, так что приходится прибегать к их усилению. Осциллограммы, изображенные на рис. 5, свидетельствуют об ускорении нарастания напряжения, что позволяет надеяться на возможность получения изображения с достаточно резко очерченными краями. Смещение осциллограмм с нулевой линии объясняется наложением постоянной составляющей напряжения в усилителе, не имеющим принципиального значения. Для получения изображений Кноль пользовался схемой, изображенной на рис. 5.

Напряжение U_p между анодом и некоторой точкой объекта, на которую в данный момент попадает катодный пучок, подается через усилитель на управляющую сетку брауновской трубки, регулирующую интенсивность тока в ней. Как первичный катодный пучок, так

и пучок в брауновской трубке, управляемой напряжением U_p , синхронно перемещаются (первый — по объекту, второй — по экрану трубки) под действием скрещенных магнитных полей с частотами 50 и 10^4 Hz; при своих перемещениях первый пучок пробегает всю

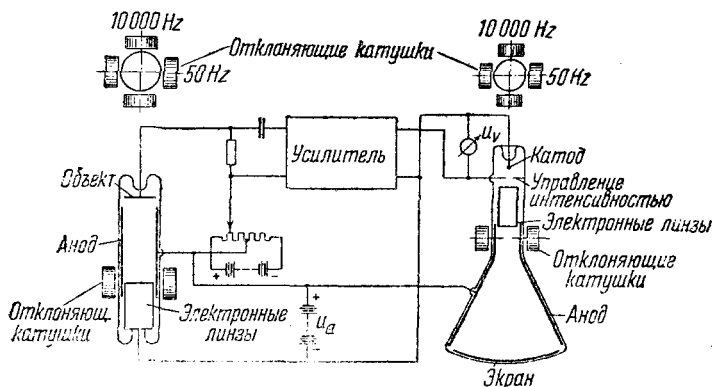


Рис. 4. Импульсы тока при периодическом движении электронного пучка по никелевой пластине с полоской из угля

поверхность исследуемого объекта, а второй дает его изображение на экране брауновской трубки (процесс этот до известной степени напоминает процесс получения изображений в телевизионной системе Зворыкина).

Детали схемы поясняются подписями на рис. 5. Следует отметить, что при экспериментах была использована батарея с потенцио-

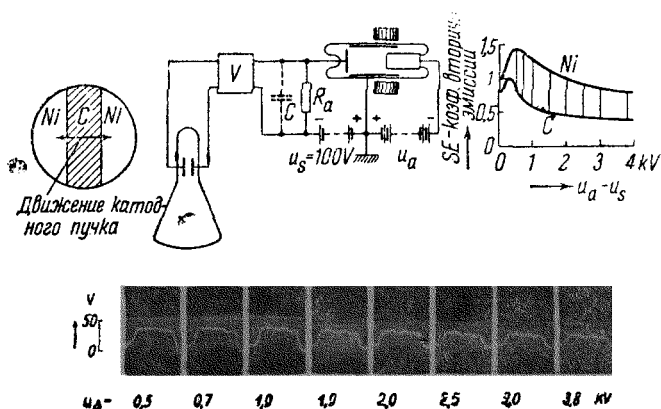


Рис. 5. Схема для получения электронограмм при помощи вторичной эмиссии

метром, позволяющая создавать между объектом и анодом произвольную разность напряжений любого знака; в дальнейшем эта разность будет обозначаться U_p ; на эту разность потенциалов накладываются колебания потенциала, обусловленные электронной эмиссией отдельных участков объекта.

Объектом служила никелевая пластинка с буквами, нанесенными на ее поверхность углем (рис. 6 слева вверху); диаметр пластинки

5 см. При $U_p = -15$ В получалось весьма яркое и контрастное изображение объекта на экране брауновской трубки (рис. 6 справа сверху). Если увеличивать U_p , то контрастность резко ухудшается, и примерно при $U_p = +15$ В изображение исчезает. Но дальнейшее повышение напряжения U_p снова дает изображение, интенсивность которого растет вместе с U_p , но контрастность оказывается менее хорошей (рис. 6 внизу). Кроме того, эти изображения отличаются от изображений, полученных при отрицательных напряжениях распределением яркости, именно: светлые участки одних соответствуют темным участкам других и наоборот.



Рис. 6. Электронограммы никелевой пластинки с буквами из угля

вичных отраженных электронов, обладающих энергией, достаточной для обратного пробегания поля, созданного между объектом и анодом. Кноль, базируясь на ряде наблюдений, приходит к заключению, что тела с высокой вторичной эмиссией плохо отражают электроны (и обратно). Однако он воздерживается от окончательных суждений по этому вопросу впредь до накопления дальнейших экспериментальных данных.

Описанный метод позволяет получать и более тонкие изображения. Так, на рис. 7 изображены фотография, электрограмма и отпечаток обычного клише, сделанного из электролитической меди и натертого углем.

На рис. 8 приводятся фотография и электронограммы, полученные при использовании в качестве объекта железа, содержащего кремний. Правая нижняя электронограмма снята при значительном увеличении. Эти электронограммы интересны тем, что на них отчетливо видны полутона, обусловленные различной эмиссионной способностью отдельных кристаллов.



Рис. 7. Электронограмма объекта тонкой структуры

Далее, автору удалось установить влияние на получаемое изображение пространственного заряда, возникающего при больших плотностях тока в трубке, а также угла, под которым первичные электроны попадают на объект, имеющий неровную поверхность.

В заключение автор приводит весьма интересные предварительные результаты изучения вторичного излучения различных внутренних частей трубки. При этих опытах плоский объект был заменен кольцом из никелевой проволоки, благодаря чему пучок первичных электронов мог попадать на внутренние части трубки. Оказалось, что значительная вторичная эмиссия наблюдается не только у проводников, находящихся внутри трубки, но и у изоляторов. Электронограммы отчетливо доказали, что при изучении распределения тока в трубке или лампе необходимо учитывать не только первичный электронный пучок, но и вторичную эмиссию электронов с различных участков, бомбардируемых первичными электронами.

Что касается разрешающей способности этого нового метода получения электронограмм, то она ограничивается прежде всего размерами первичного электронного пучка, который едва ли может иметь диаметр, меньший 0,1 мм (обычно диаметр пучка близок к 1 мм). Однако по сравнению с обычным электронным микроскопом этот метод имеет и ряд преимуществ, как, например, отсутствие сильного ускоряющего поля, могущего исказить первоначальное распределение электронов, отсутствие хроматической абсорбции и т. д.

Возможность изучения этим методом вторичной эмиссии и распределения зарядов на изоляторах позволяет думать, что он получит широкое распространение наравне с обычным электронным микроскопом.

Н. Малов, Москва



Рис. 8. Вторичная эмиссия кристаллов железа с примесью кремния

γ-ЛУЧИ, ВОЗБУЖДАЕМЫЕ НЕЙТРОНАМИ

Недавно на страницах этого журнала сообщалось,¹ что при воздействии нейтронов на вещество появляется γ-излучение (опыты Ли). В последнее время появилось большое число работ, посвященных исследованию этого эффекта и разъяснивших некоторые пункты работы Ли в частности устранивших противоречие с опытами Чадвика и Гольдгабера по ядерному фотоэффекту. Этими работами^{2, 3, 4} прежде всего было установлено, что за возникновение γ-лучей практически ответственны лишь медленные нейтроны. Быстрые нейтроны создают очень малый эффект. Имеется лишь один случай (Au),⁴ для которого наблюдается эффект заметной величины для незамедленных нейтронов, возникающих при соударении дейтона с дейтоном. Однако в этом случае опыты проведены недостаточно точно.

В связи с тем, что γ-лучи возникают, главным образом, от медленных нейтронов, становится понятным, почему в опытах Ли для парафина наблюдался больший эффект, чем для углерода. Это объ-