

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ**СИМПОЗИУМ ПО ФИЗИЧЕСКИМ ОСНОВАМ
ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

Электрофотография — одно из новых и весьма перспективных направлений технической физики. Хотя первые работы по электрофотографии были выполнены в США в конце тридцатых годов, за последние пять лет в Советском Союзе эти работы стали развиваться в ряде новых направлений, что позволило к настоящему времени накопить большой и практически важный экспериментальный материал. В настоящее время исследования в области электрофотографии проводятся в целом ряде академических и отраслевых научно-исследовательских учреждений. Среди них — специализированный институт в Вильнюсе, занимающийся вопросами электрофотографии, Институт кристаллографии АН СССР, Лаборатория аэрометодов АН СССР, Государственный оптический институт имени С. И. Вавилова и ряд других научных учреждений.

В настоящее время наибольшее распространение получил электрофотографический процесс, основанный на поверхностном заряджении фотопроводящих поликристаллических слоев (ксерография). Для этой цели используют высокоомные фотопроводящие слои ($\rho \geq 10^{12}$ ом·см) из аморфного селена, ZnO, CdS и ряда фосфоров. Такие относительно низкоомные фотопроводники, как ZnO и CdS, предварительно диспергируют в связующем, обладающем высокими изолирующими свойствами вещества, после чего наносят на соответствующую подложку. Широкое распространение получили, например, электрофотографические слои из ZnO, нанесенные непосредственно на бумагу и являющиеся, таким образом, аналогом обычных бромо-серебряных фотобумаг. Поверхностное заряджение электрофотографических слоев производят обычно с помощью коронного разряда в воздухе, хотя эта операция может быть выполнена и путем контактной электризации. При экспонировании заряженного слоя его внешнее поле из-за фотопроводимости уменьшается. Это может происходить как за счет непосредственной рекомбинации носителей, так и за счет образования двойных электрических слоев. Таким образом, при проектировании на поверхность заряженного (очувствленного) электрофотографического слоя изображения возникает потенциальный рельеф, который и образует скрытое изображение. Это скрытое изображение может быть проявлено с помощью электрофотографических проявителей, представляющих собой совокупность частиц диэлектрика, несущих противоположный по знаку электрический заряд. В одних случаях для этого используют трибоэлектрический эффект (сухие проявители), в других — явление электрофореза (жидкие проявители). Открытие Е. К. Пуцейко и А. Н. Терениным*) явления оптической сенсibilизации внутреннего фотоэффекта в ZnO органическими красителями положило начало исследованиям в области сенсibilизации электрофотографических слоев и созданию на этой основе слоев с заданной спектральной чувствительностью.

В последнее время было открыто и подробно исследовано явление электрофотографии на фотоэлектретах**). Фотоэлектретное состояние, возникающее в кристаллах в процессе фотопроводимости, заключается в том, что в приложенном поле при освещении кристалл приобретает устойчивую внутреннюю поляризацию, которая после снятия внешнего поля и прекращения освещения длительно сохраняется в кристалле. Освещение фотоэлектрета приводит к его деполяризации. Фотоэлектретное состояние наблюдалось в сере, киновари, антрацене и ряде других кристаллов и поликристаллических диэлектриков. Фотоэлектретные электрофотографические слои позволяют получить скрытое изображение как в режиме поляризации, так и в режиме деполяризации слоя при освещении, что соответствует негативному или позитивному фотографическим процессам. В случае фотоэлектретов темновая регрессия скрытого изображения

*) Е. К. Пуцейко, А. Н. Теренин, ДАН СССР 70, 401 (1950).

**) В. М. Фридкин, И. С. Желудев, Фотоэлектреты и электрофотографический процесс, М., изд. АН СССР, 1960.

происходит относительно медленно. Что касается проявления скрытого изображения в фотоэлектретных слоях, то оно может быть осуществлено указанными выше методами. Добавим, что в последнее время разными авторами был описан целый ряд других вариантов электрофотографического процесса, основанных на явлении поляризации диэлектриков.

Уже из приведенного выше весьма краткого обзора следует, что электрофотографический процесс не представляет собой самостоятельного физического явления, будучи основанным на использовании целого комплекса физических явлений, которые до сих пор никогда не рассматривались вместе или в какой-либо связи друг с другом. Достаточно указать на то, что в основе образования скрытого электрофотографического изображения лежит сложный комплекс электронных, ионных и релаксационных процессов в кристаллах, а в основе проявления — не менее сложный комплекс явлений статической электризации, которые, за редким исключением*), систематически не изучались.

Указанное обстоятельство предопределило интерес, который был проявлен к Симпозиуму по физическим основам электрофотографического процесса, организованному Институтом кристаллографии АН СССР (24—26 ноября 1960 г.). Симпозиум, в котором приняло участие около 100 представителей более чем 15 научных организаций, заслушал и обсудил на своих пяти заседаниях 22 доклада.

На первом заседании были заслушаны доклады, посвященные исследованию электретоного состояния диэлектриков и использованию электретов в электрофотографии. В интересном докладе А. Н. Г у б к и н а (ФИАН) «Остаточная поляризация в поликристаллических титанатах щелочноземельных металлов и ее роль в электретном эффекте» были приведены результаты исследования остаточной поляризации у термоэлектретов из титанатов щелочноземельных металлов. Из приведенных в докладе данных следует, что в исследованных термоэлектретах имеет место остаточная поляризация порядка 10^{-4} к/см², которая и обуславливает электретный эффект. Величина этой остаточной поляризации резко возрастает с температурой и временем поляризации соответствующих диэлектриков, но практически не изменяется со временем хранения электретов при комнатной температуре (в течение года). При более высоких температурах указанная поляризация экспоненциально спадает со временем (соответствующая энергия активации $U = 0,6$ эв). Доклад А. Н. Губкина вызвал оживленную дискуссию, особенно в связи с проблемой общности механизмов, обуславливающих термоэлектретное и сегнетоэлектрическое состояния диэлектриков. В докладе В. М. Ф р и д к и н а (Институт кристаллографии АН СССР) содержались результаты исследования эффекта свечения электретированных цинкосульфидных слоев под действием постоянного электрического поля, направление которого противоположно направлению поля при поляризации. Данные о первых наблюдениях этого эффекта были опубликованы автором ранее**). В докладе сообщалось о наблюдении своеобразного эффекта тушения, который заключался в том, что облучение электретированного слоя красным светом приводило к изменению минимального значения напряженности постоянного электрического поля, при котором наблюдалось свечение (это значение названо критическим). С увеличением длины волны критическое значение напряженности обратного поля уменьшалось. Полученные результаты позволили автору сделать предположение о туннельном механизме возбуждения, ответственного за наблюдаемую люминесценцию. Указанный эффект тушения был положен в основу нового варианта электрофотографического процесса, о котором сообщалось в докладе И. С. Ж е л у д е в а, Ю. Н. Б а р у л и н а и В. М. Ф р и д к и н а (Институт кристаллографии АН СССР и НИИПолиграфмаш). Авторы производили зарядку слоя ZnS—Cu с помощью коронного разряда, после чего проектировали через красный светофильтр изображение на заряженный слой. При приложении к экспонированному слою обратного поля, напряженность которого не превышала критического значения, авторы наблюдали люминесценцию скрытого изображения, которое в этом случае было обусловлено не распределением зарядов или поля, а неодинаковыми условиями тушения в разных участках слоя. Этим способом при комнатной температуре удалось получить фотографии в диапазоне длин волн до 1,1 м. При низких температурах красная граница этого эффекта может быть смещена в длинноволновую область. Большой интерес и оживленную дискуссию вызвал доклад Э. И. А д и р о в и ч а (ФИАН) «Распределение гетерозаряда и поля в фотоэлектретах». Автором было представлено решение задачи о стационарном распределении плотности объемного заряда и напряженности поля в монокристаллическом фотоэлектрете. В случае малой степени возбуждения доноров и малой степени заполнения акцепторов (что в большинстве случаев имеет место) решение задачи может быть выражено через эллиптическую функцию Вейерштрасса. При этом распределение плотности объемного заряда является антисимметричным относительно середины кристалла. Показано, что объемный заряд сосредоточен в достаточно узких приэлектродных слоях кристалла, толщина которых не зависит от напряженности поляризующего

*) L. B. L o e b, Static Electrification, Brl., Springer Verlag, 1958.

**) В. М. Фридкин, ДАН СССР 131, 290 (1960).

поля. В интересном сообщении И. Я. Лямичева и И. Н. Орлова были приведены результаты исследования явления устойчивой поляризации в электролюминесцентных слоях и, главным образом, его влияния на особенности их электролюминесценции под действием электрических импульсов.

Другая группа докладов была посвящена проблеме оптической сенсibilизации электрофотографических слоев органическими красителями и некоторым вопросам, связанным с природой этого явления. Доклад Н. Н. Маркевича и Е. К. Пуцеейко (НИИЭлектрографии и ГОИ) был посвящен изучению изотермы адсорбции флуоресценции и эритрозина и ее влиянию на фотоэ.д.с. сенсibilизированной окиси цинка. Используя конденсаторный метод, авторы установили, что максимум фоточувствительности для сенсibilизированной окиси цинка имеет место при заполнении красителем 70% мономолекулярного слоя. В этой области концентраций соответствующие изотермы подчиняются уравнению Лэнгмюра. Полученные результаты могут быть непосредственно использованы при усовершенствовании методики оптической сенсibilизации электрофотографических слоев. Большой интерес вызвала работа И. А. Акимова (ГОИ) «Об инерционности процесса оптической сенсibilизации», в которой автор на основании комплекса исследований сделал попытку определить время передачи энергии или электрона от красителя-сенсibilизатора к полупроводнику. В работе сделан вывод о том, что это время не превышает 10^{-9} сек. Этот результат является весьма обнадеживающим, так как он указывает на то, что чувствительность соответствующих электрофотографических слоев ограничена не инерционностью процесса оптической сенсibilизации, а кинетикой электронных процессов в решетке полупроводника. В сообщении Ф. А. Левиной и И. З. Плавиной (НИИЭлектрографии) «Спектральные характеристики сенсibilизированных фотополупроводниковых слоев» рассматривалось спектральное распределение фототока в окиси цинка, сенсibilизированной флуоресцеином, эозином, трипалавином и пинапином. Авторы обращают внимание на сдвиг в коротковолновую область кривой спектрального распределения фототока сенсibilизированных слоев по сравнению с кривой спектрального поглощения соответствующих растворов красителей. В работе сделано предположение, что этот сдвиг обусловлен совместным действием ионов кислорода и молекул красителя, адсорбированных на ZnO . По данным авторов, совместная сенсibilизация ZnO двумя красителями эквивалентна усилению действия одного из них, максимум поглощения которого расположен в более коротковолновой области. В докладе Б. Васильускайте, Ю. Вишакаса, Ю. Зибуды, М. Пархоменко и Т. Янаускаса (НИИЭлектрографии) «Релаксация фотопроводимости электрофотографических слоев из окиси цинка, сенсibilизированной эозином» были приведены данные о стационарной фотопроводимости, времени релаксации и люксамперной характеристике поперечного и продольного фотозффектов в окиси цинка, сенсibilизированной эозином. Полученные результаты интерпретируются авторами на основе теории А. Роуза*). В докладе Н. М. Меланхолия, а также в докладе Е. Н. Славиновой (Институт кристаллографии АН СССР) были приведены интересные данные о полупроводниковых свойствах кристаллов красителей и методах введения красителя в растущий кристалл.

На одном из заседаний Симпозиума были заслушаны доклады, посвященные исследованию некоторых общих свойств электрофотографических слоев. С большим интересом был заслушан доклад С. Г. Гренишина и Ю. А. Черкасова (ГОИ) «Электрические и фотоэлектрические свойства селен-теллуристых электрофотографических слоев». Авторы методом динамического электрометра исследовали спектральную чувствительность вышеуказанных слоев для разных подложек, различных условий термической обработки и заряжения слоев. Значительный интерес для участников Симпозиума представил доклад С. А. Семилетова (Институт кристаллографии АН СССР), в котором были приведены данные о структуре тонких слоев селена. Доклад Ю. К. Вишакаса, В. И. Гайделиса, Э. А. Монтримаса и Э. М. Сувейздиса (НИИЭлектрографии) был посвящен исследованию влияния окислов металлов, вводимых в электрофотографический слой в виде примесей, на потенциал заряжения и темновой спад потенциала соответствующего слоя. Доклад Э. И. Адировича и В. М. Фридкина (ФИАН и Институт кристаллографии АН СССР) был посвящен анализу выполнения закона взаимозаменяемости в электрофотографии и связи взаимозаменяемости с условиями квазистационарного возбуждения кристалла.

Два заседания Симпозиума были посвящены работам по исследованию механизма и кинетики проявления скрытого электрофотографического изображения, а также вопросам сенситометрии и чувствительности электрофотографического процесса. С большим интересом был заслушан доклад И. И. Жилевича (НИИЭлектрографии) «О роли внешнего поля скрытого электрофотографического изображения», в котором содержались результаты исследования кинетики проявления на основе метода эквивалентных схем. Автор считает, что полное проявление скрытого изображения

*) A. Rose, RCA Review 12, 362 (1951).

обусловлено образованием двойного электрического слоя и лишь частичной рекомбинацией зарядов проявителя и электрофотографического слоя. Доклад И. В. А н ф и л о в а (НИИПолиграфмаш) был посвящен теоретическому и экспериментальному изучению кинетики проявления скрытого изображения с помощью жидких проявителей. Доклад С. И. Х о т я н о в и ч а (НИИЭлектрографии) содержал интересный и практически важный анализ причин, обуславливающих возникновение искажений при проявлении электрофотографических слоев. В совместном докладе С. И. Х о т я н о в и ч а и А. Ю. Г и к е н е (НИИЭлектрографии) исследовалось влияние состава жидких проявителей на их свойства. В докладе К. М. В и н о г р а д о в а (ГОИ) «Некоторые вопросы проявления электрографических слоев» было уделено много внимания анализу краевого эффекта и использованию метода контрэлектрода при проявлении. Ю. Е. К а р ц е ш к о (НИИТС) в своем докладе дал сравнительную оценку факторам, влияющим на чувствительность электрофотографического процесса, и привел некоторые данные о применении электрофотографии для записи изображения с экрана электронно-лучевой трубки. Живое обсуждение вызвал доклад А. Б. Д р а в и н а (ВНИИПП и Т), который был посвящен вопросам сенситометрии и усовершенствованию методики экспонирования электрофотографических слоев. С большим интересом участники Симпозиума выслушали доклад Е. С. Б о р и с е в и ч а, И. И. Ж и л е в и ч а, Л. Е. А р о н о в а, С. В. А р ш в и л а, М. В. З а б е л и н а и М. С. М о с я г и н а (Институт физики Земли АН СССР и НИИЭлектрографии) о сейсмическом осциллографе, в котором осуществляется запись сигналов на электрофотографическом слое.

Результаты Симпозиума указывают на необходимость проведения дальнейших исследований, направленных на изучение механизма образования скрытого электрофотографического изображения и, в особенности, электростатики скрытого изображения, механизма и кинетики его проявления. Только на этом пути может быть понята природа чувствительности электрофотографических слоев и найдены факторы, ограничивающие ее величину. Одновременно результаты Симпозиума свидетельствуют о перспективности разработки принципиально новых электрофотографических методов, основанных на электронных процессах в кристаллах.

В. М. Фридкин