

297

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

P-297

Б.М. Головин, И.С. Желудев, Н.Т. Кашукеев, В.М. Фридкин

**ФОТОЭЛЕКТРЕТЫ
И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
В ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ**

Дубна, 1959 год

P-297

Б.М. Головин, И.С. Желудев, Н.Т. Кашукеев, В.М. Фридкин

**ФОТОЭЛЕКТРЕТЫ
И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ
В ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ**

А н н о т а ц и я

Приведен краткий обзор основных физических характеристик фотоэлектретов, поляризующихся под действием света и жестких излучений. Даются сведения о применении фотоэлектретов в электрофотографии и рассматриваются перспективы их применения в ядерной физике и смежных с ней областях науки и техники.

1. Сущность явления фотополяризации

Явление поляризации кристаллов при фотопроводимости давно известно и исследовано рядом авторов /1, 2, 3, 4/. Тартаковским /1/ было показано, что фотополяризация связана с накоплением объемного заряда в процессе фотопроводимости. Механизм явления фотополяризации можно пояснить с помощью рис.1. Излучение перебрасывает электроны из заполненной зоны 1 и с примесных уровней 2 в зону проводимости 3. Под действием электрического поля эти подвижные электроны перемещаются против поля до тех пор, пока не рекомбинируют со свободными дырками заполненной зоны, или не будут захвачены центрами прилипания на дискретный уровень 2. Таким образом под действием света и электрического поля происходит перераспределение и закрепление носителей тока на дискретных уровнях, что приводит к возникновению внутренней объемной фотополяризации образца. Если электрическое поле будет убрано, а свет продолжает действовать, то происходит обратный процесс. Под действием света и собственного поля начинается рассасывание объемного заряда до его полного выравнивания. Феноменологически это выражается в появлении обратного деполяризационного тока, который постепенно падает до нуля /рис.2/.

Спектральное распределение деполяризационных токов было использовано некоторыми авторами /3, 4, 5/ для определения положения энергетических уровней, на которых закрепляются объемные заряды, создающие устойчивую фотополяризацию.

2. Открытие фотоэлектретов и физические исследования фотоэлектретного состояния

Все вышеупомянутые исследования фотополяризации кристаллов проводились с точки зрения изучения их фотопроводящих свойств. В 1937 году академик

Г.С.Наджаков^{/6/} подошел к этому вопросу совершенно с другой стороны. Он первым обратил внимание на сохранение фотополяризации в темноте в отсутствии внешнего поля. Им было обнаружено, что пластинка из поликристаллической серы сохраняет свою фотополяризацию неизменной в темноте больше 15 часов. Исходя из представления, что замечательная устойчивость поляризации электретов Эгучи^{/7/} связана с фиксацией зарядов вследствие резкого снижения проводимости образца во время его затвердевания, Наджаков указал, что подобный механизм имеет место и при фотополяризации. Таким образом, фотополяризованная диэлектрическая пластинка является аналогом электретов Эгучи. Поэтому он предложил перманентно фотополяризованные пластинки называть фотоэлектретами, а электреты Эгучи - термоэлектретами. Таким образом, Наджаковым были открыты фотоэлектреты и было положено начало исследованиям фотоэлектретного состояния твердых тел. В 1951-1952 г.г. исследования с фотоэлектретами из серы были продолжены и расширены Наджаковым и Кашукеевым^{/8,9/}. На рис.3 показана схема измерительной установки, состоящей из защитной коробки для фотоэлектрета и квадрантного электрометра. Свет падал сверху, через прозрачный электрод, параллельно электрическому полю. В позднейших исследованиях^{/10, 11, 12/} в качестве измерительных приборов применялись ламповый электрометр постоянного тока и динамический электрометр.

В работе^{/8/} было показано, что:

1/ Сохраняемость фотополяризации в поликристаллической сере в темноте зависит от чистоты исходного материала и термической обработки образца.

2/ В поликристаллических пластинках серы фотополяризация сохраняется лучше, чем в монокристаллах.

3/ Поляризация серной пластинки под действием света состоит из световой поляризации /фотополяризации/ и темновой поляризации, протекающих одновременно и независимо друг от друга. В темноте темновая поляризация со временем падает до нуля, а фотополяризация либо остается неизменной, либо очень медленно падает, стремясь к некоторому постоянному значению /рис.4/.

В работе^{/9/} было исследовано влияние температуры на фотопроводимость, фотополяризацию и фотополяризуемость монокристаллической серы. Было найдено, что в температурном интервале от +20 до +105°С фотопроводимость уменьшается тем больше, чем выше температура. На рис.5 показано уменьшение фотополяризации со временем при различных температурах, а на рис.6 показано уменьше-

ние фотополяризуемости с температурой. Разные кривые соответствуют различным интенсивностям освещенности. Интересно отметить, что все они сходятся в одну точку, совпадающую с точкой плавления серы. Уменьшение фотополяризуемости происходит по закону

$$\Delta P = A e^{-\frac{W}{kT}}$$

где $W = 0,48$ эв - энергия деполяризации серы.

С помощью этой зависимости была сделана попытка объяснить механизм температурного уменьшения фотополяризуемости на основании схемы энергетических уровней серы, предложенной Тартаковским и Рекаловой /5/.

В 1955 году Колман и Розенберг /10/ исследовали остаточную внутреннюю фотополяризацию в большом количестве веществ. Было найдено, что такая поляризация может быть получена в фотопроводящих веществах с большим темновым сопротивлением под действием различных излучений /видимый, ультрафиолетовый и инфракрасный свет, γ - излучение и быстрые электроны/ в присутствии постоянного электрического поля. Наиболее подробно этими авторами были исследованы антрацен и $[Zn: Cd]S$ - фосфор. Было обнаружено, что внутренняя поляризация с напряженностью 10000 в/см в отсутствие внешнего поля может сохраняться в темноте в течение нескольких дней. Плотность удерживаемого заряда доходила до 10^{-10} кул./см², а внешний потенциал превосходил 100 в. Поляризация оказалась почти логарифмической функцией интенсивности падающего излучения и линейной функцией напряженности поля. Было найдено, что чувствительность поляризованных фотоэлектретов к быстрым электронам и γ -лучам большая, чем к видимому и ультрафиолетовому или инфракрасному свету. Это иллюстрируется данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1.

Предварительные измерения чувствительности деполяризации в

$[Zn: Cd]S$ - фосфоре к различным излучениям.

Тип излучения	Падение поляризации в вольтах за сек. на единицу энергии радиации
Ультрафиолет /3660 Å /	0,6
Видимый свет /4000-7000 Å /	0,06
Инфракрасный свет /0,8-1,5 микрон/	10^{-5}
Быстрые электроны /10 милли- кюри Sz^{90} /	~ 1
Гамма-лучи /1 милликюри Ra /	~ 1

На рис.7 показано ускорение спада поляризации под действием γ -излучения в $[Zn: Cd]S$ -фосфоре, обнаруженное Колманом и Розенбергом, а на рис.8 такой же спад, наблюдавшийся в наших предварительных опытах с монокристаллом антрацена.

В 1956 году Фридкин В.М. /11, 12/ предпринял исследования фотоэлектрических свойств монокристаллов серы. В работе /11/ были исследованы условия возникновения и длительность существования фотополяризации от освещенности и времени освещения. Был обнаружен эффект насыщения /рис. 9 и 10/ и отклонения от закона взаимозаместимости, т.е. зависимость остаточной поляризации от времени освещения при постоянном значении $E t / E$ - освещенность на поверхности образца, t - время освещения/.

В работе /12/ исследовалась скорость деполяризации фотоэлектрических явлений при разных температурах. Исследования проводились при температуре жидкого азота. Было обнаружено, что если фотоэлектрический эффект наблюдается при комнатной температуре, то освещение при температуре $-103^{\circ}C$ приводит лишь к частичной его деполяризации. Повышение температуры без освещения также не вызывает деполяризации образца. Полная деполяризация возможна лишь при одновременном действии света и повышении температуры. Такое состояние напоминает как фото-, так и термоэлектрическое состояние, поэтому автор назвал его термофотоэлектрическим состоянием серы.

Фридкиным, Кашукеевым и Желудевым /13/ была сделана попытка дать теоретическое объяснение эффекта насыщения и некоторых других свойств фотоэлектрических явлений, исходя из кинетики процесса и схемы энергетических уровней электронов в сере.

3. Опыты по применению фотоэлектрических явлений в электрофотографии

Известный способ получения изображений на поверхности фотопроводящих диэлектриков получил название ксерографии /сухая фотография/ /14, 15/. Для получения изображений по этому методу поверхность диэлектрика заряжается в коронном разряде. Заряды некоторое время удерживаются на его поверхности, причем скорость рассасывания зависит от освещенности. Если на поверхность спроектировать оптическое изображение, то за счет неодинакового рассасывания зарядов в точках разной освещенности образуется электрическое изображение, вполне идентичное с оптическим. Появление этого изображения производится противо-

положно наэлектризованным порошком какого-нибудь красителя /асфальт, кани- фоль, фенольно-формальдегидные смолы/. Зернышки такого порошка притягива- ются к поверхности диэлектрика с силой пропорциональной локальному заряду по- верхности и, накладываясь в большем или меньшем количестве, выявляют все особенности электрического изображения, создавая видимое черно-белое изобра- жение. Закрепление изображения производится оплавлением частиц красителя при подогреве. На рис.11 приведена электрофотография на поверхности слоя из окиси цинка и поливинилбутираля. Таким способом были получены изображения на поверх- ности бумаги, покрытой фотопроводящим слоем^{/15/}, а также поверхностях поли- кристаллических слоев из люминофоров $[CdS:ZnS]Cu$; $[CdS:ZnS]Ag$ ^{/16/}. Фридкиным, Деловой, Герасимовой и Беялетдиновым^{/17/} методом сенсibiliзи- рования /эозином и бенгальским розовым/ были получены электрофотографические слои с повышенной чувствительностью к видимой части спектра, равной приблизи- тельно 10 единицам ГОСТ.

Фридкиным, Фройманом и Немировским^{/18/} была предложена методика по- лучения изображений на поверхности фотоэлектретов. Желудев и Фридкин^{/19/} по- лучили изображение на поверхности поликристаллических фотоэлектретов из серы и применили метод многократного получения копий изображения на обычной бума- ге /рис.11 и 12/. Таким образом, открылось новое направление исследований и применений фотоэлектретов. Эти авторы указали также на возможность исследования сенситометриче- ским методом^{/19,20/} распределения заряда в фотоэлектретах и его изменения со време- нем и под действием других факторов.

4. Об исследованиях некоторых свойств фотоэлектретов и о перспек- тивах их применения в ядерной физике

Хотя свойства фотоэлектретов изучены еще недостаточно, можно утверждать, что приборы, основанные на их применении, могут оказаться весьма чувстви- тельными детекторами излучений. Поэтому было принято решение о проведении ряда работ по изучению действия ядерных излучений на фотоэлектреты и выяснение воз- можностей их применения в ядерной физике. При этом предполагается, что бу- дут исследованы следующие вопросы:

1/ Поляризация и деполяризация различных веществ под действием ядер- ных излучений.

2/ Влияние примесей на фотополяризуемость различных веществ.

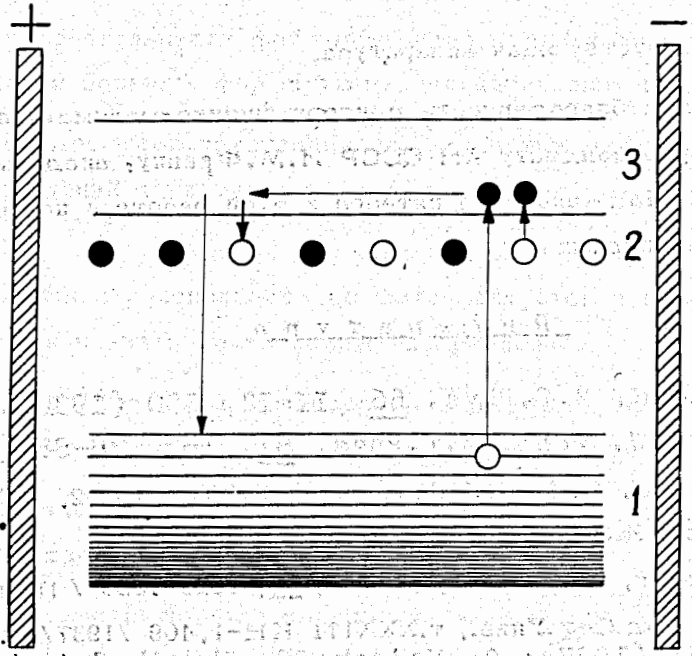


Рис. 1. Схема фотополаризации.

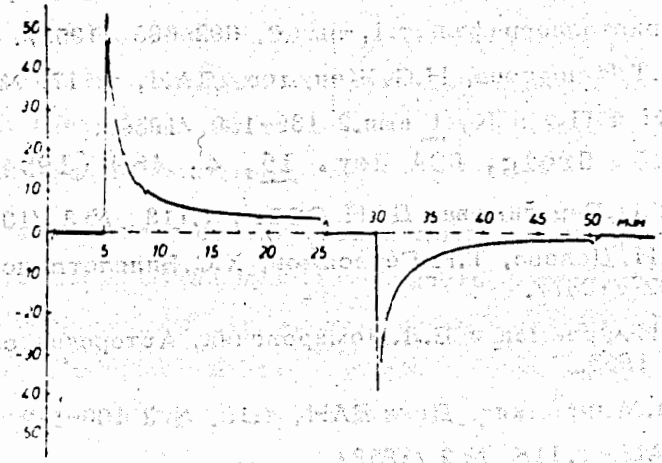


Рис. 2. Зависимость токов фотополаризации и фотодеполаризации от времени.

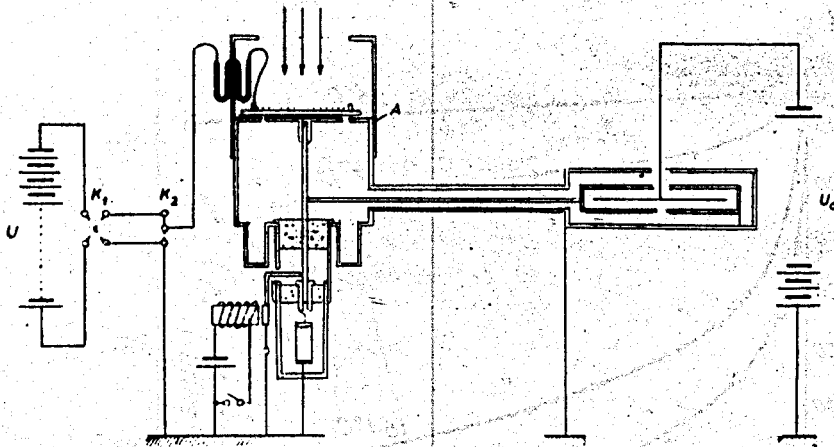


Рис. 3. Схема экспериментальной установки [8].

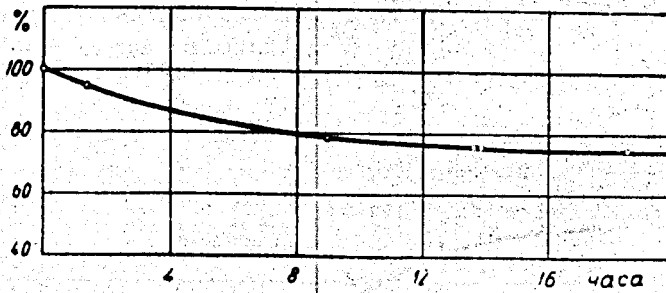


Рис. 4. Уменьшение фотополяризации со временем /поли-кристаллический фотоэлектрет из обычной промышленной серы/ [8].

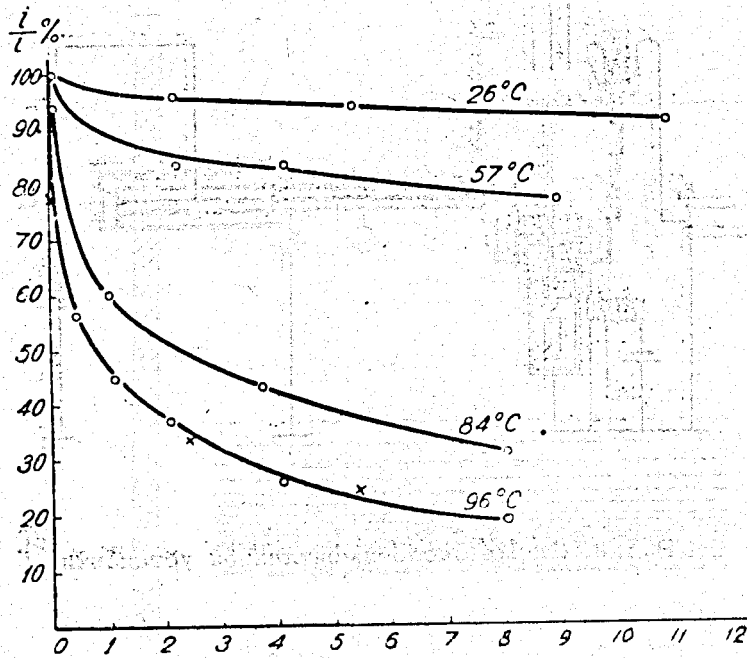


Рис. 5. Временная зависимость фотополяризации при разных температурах [9].

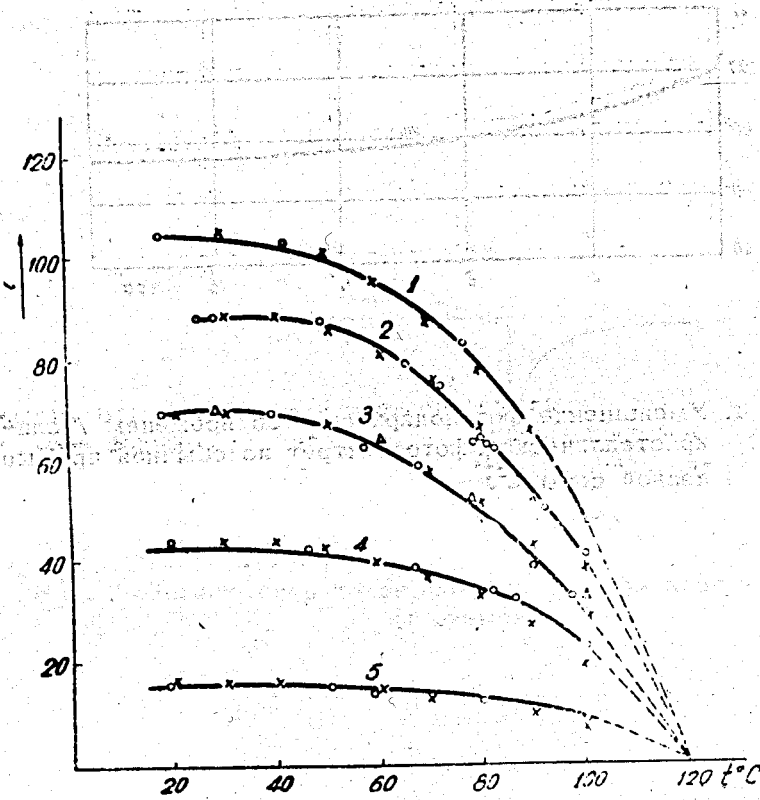


Рис. 6. Изменение фотополяризуемости в зависимости от температуры [9].

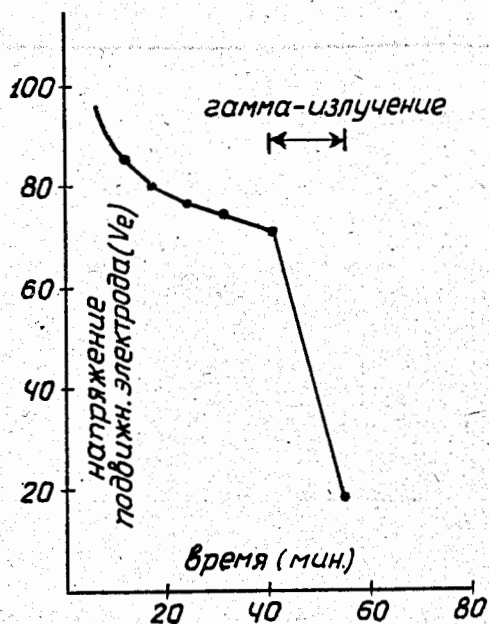


Рис. 7. Ускорение деполаризации $[Zn: Cd]S$ - фосфора под действием γ - излучения $[^{10}]$ / поляризующее напряжение 200 вольт, время поляризации 2^3 мин., интенсивность поляризующего УФ - света 15 мквт/см^2 /

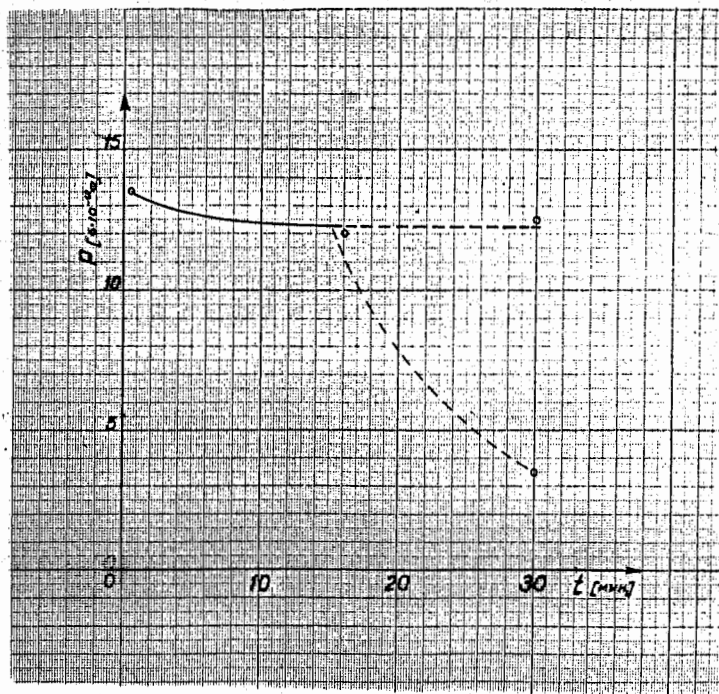


Рис. 8. Ускорение темновой деполаризации монокристалла антрацена под действием γ - излучения /измерения авторов. Использован источник γ - лучей Co^{60} интенсивностью 20 милликюри /.

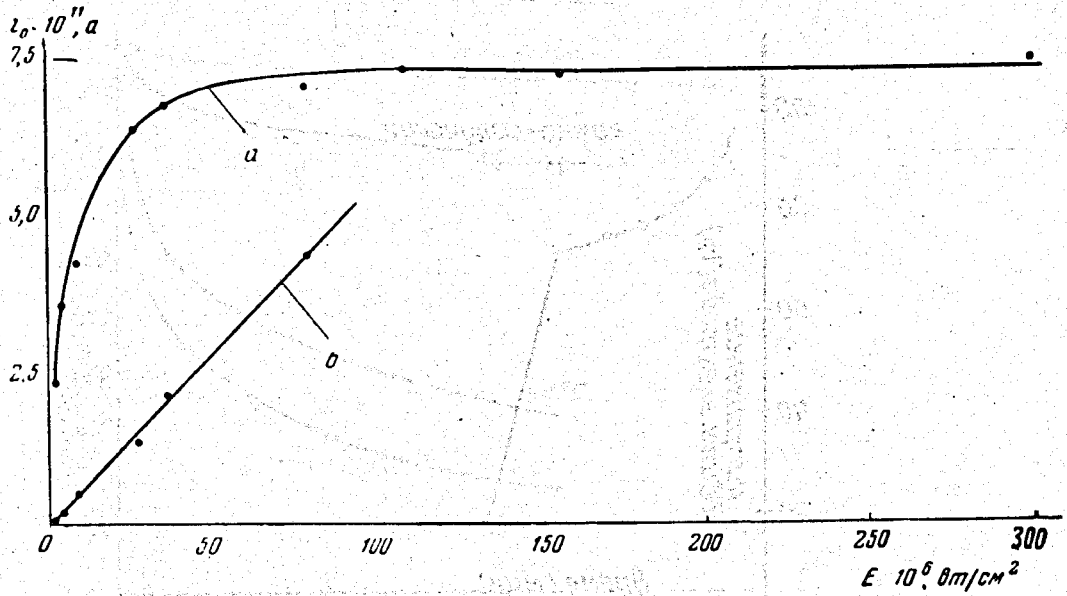


Рис. 9. Зависимость начального тока деполяризации A и начального зарядного фототока δ от освещенности в процессе поляризации [1].

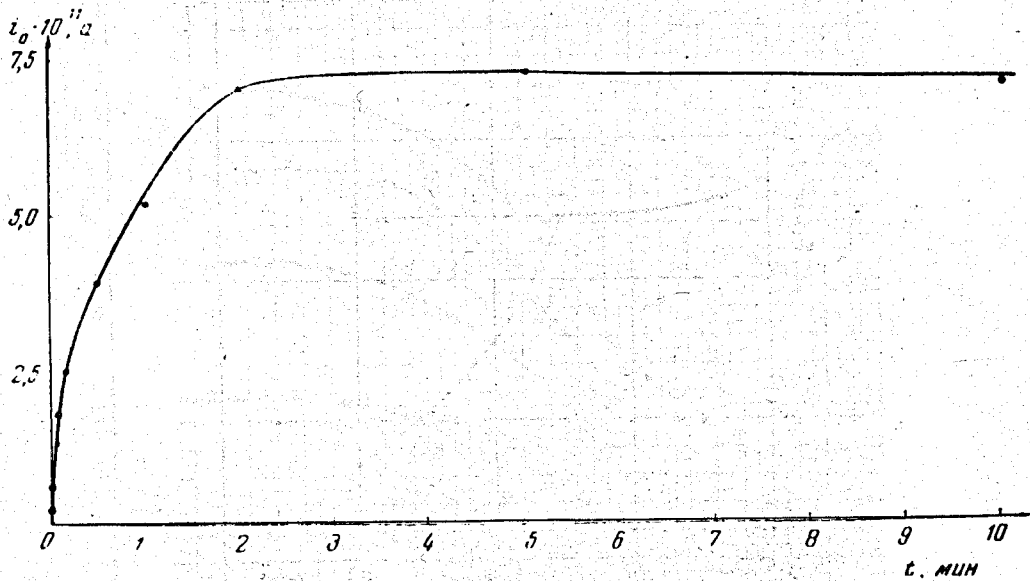


Рис. 10. Зависимость начального тока деполяризации от времени освещения в процессе поляризации [1].



Рис. 11. Электрография на поверхности слоя из окиси цинка и поливинилбутираля.



Рис. 12. Электрофотография на поверхности поликристаллического фотоэлектрета из серы.