

А-59
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

Ленинградский электротехнический институт
им. В. И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)

На правах рукописи

О. М. БОНДАРЕНКО

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
ПАНХРОМАТИЧЕСКИХ И ИНФРАХРОМАТИЧЕСКИХ
СЛОЕВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИИ**

Специальность 05.242

ЭЛЕКТРОВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

ЛЕНИНГРАД, 1970 г.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

Ленинградский электротехнический институт
им. В. И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)

На правах рукописи

О. М. БОНДАРЕНКО

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
ПАНХРОМАТИЧЕСКИХ И ИНФРАХРОМАТИЧЕСКИХ
СЛОЕВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИИ

Специальность 05.242

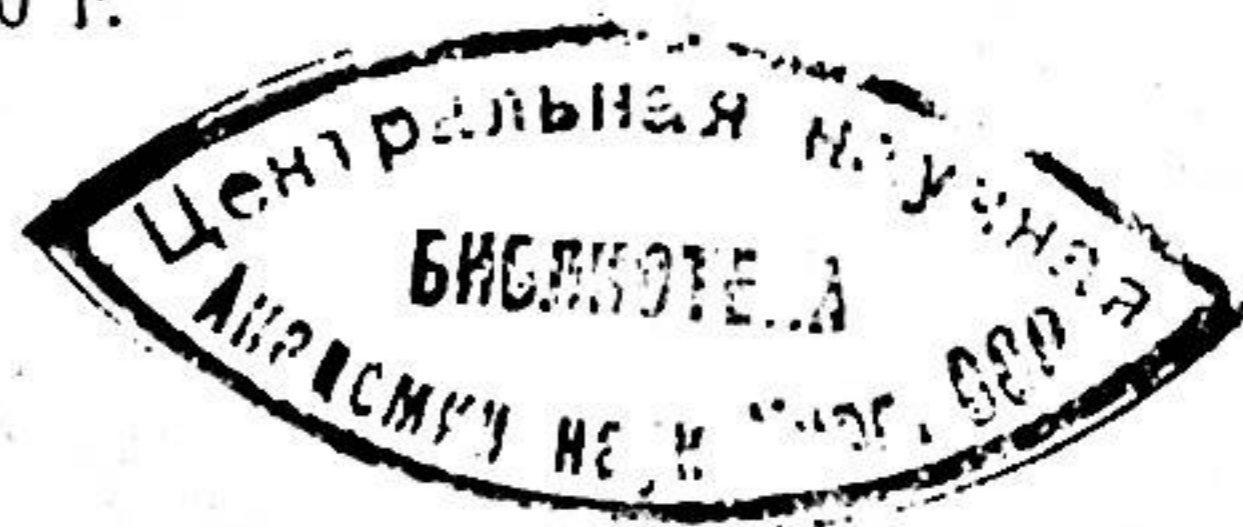
ЭЛЕКТРОВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

ЛЕНИНГРАД, 1970 г.



6
ASD
Научные руководители:

- Доктор технических наук профессор КОЗЫРЕВ Б. П.
- Кандидат физико-математических наук
ПОДВИГАЛКИН П. М.

Официальные оппоненты:

- Доктор физико-математических наук ГРЕНИШИН С. Г.
- Кандидат технических наук САВЕЛЬЕВ Г. А.

Автореферат разослан „4“ февраля 1971 г.

Защита диссертации состоится „____“ марта

_____ 1971 г. на заседании Совета по присужде-
нию ученых степеней факультетов Радиотехники и Элек-
тронной техники Ленинградского ордена Ленина Электро-
технического института имени В. И. Ульянова (Ленина).

Город Ленинград, П-22, ул. проф. Попова, д. № 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке.

Ученый секретарь Совета КОЛОМЕНСКИЙ Ю. А.

Принципиально новый процесс регистрации оптиче-
ских изображений—электрофотография—получил за по-
следнее десятилетие значительное развитие. Это обуслов-
лено большой скоростью получения снимков, отсутствием
химической обработки фоточувствительного слоя, нечув-
ствительностью к радиационным излучениям, высокой эко-
номичностью и рядом других достоинств.

Эффективная светочувствительность селенового элек-
трофотографического слоя составляет $0,1 \text{ (мк.дж/см}^2\text{)}^{-1}$ и
сравнима со светочувствительностью галодосеребряных
фотобумаг. По спектральному распределению светочувст-
вительности электрофотографические слои аморфного се-
лена близки к несенсибилизированным галодосеребряным
фотоматериалам. Для ряда применений электрофотографи-
ческого процесса ограниченность спектральной характери-
стики используемого слоя сине-зеленой зоной спектра не
является недостатком. Более того, с точки зрения сохра-
нения первичной информации оригинала, выполненного
цветными красителями, желательно иметь спектральную
характеристику светочувствительности в узком интервале
длины волн. Однако ряд фотографических и копировальных
работ, среди которых в первую очередь должны быть
указаны работы по реставрации поврежденных текстов,
цветная электрофотографическая печать, цветоделитель-
ное репродуцирование многокрасочных оригиналов, работы
по усилению контраста угасших текстов, требует исполь-
зования слоев, светочувствительных в других зонах
спектра, в частности, слоев с длинноволновой границей
спектральной светочувствительности $0,65\text{—}0,7 \text{ мкм}$ и слоев,
светочувствительных в зоне длин волн $0,72\text{—}1,2 \text{ мкм}$.

Цель настоящей работы — разработка и исследование
электрофотографических слоев, светочувствительных в
красной и ближней инфракрасной областях спектра. Есте-
ственно, при этом большого внимания требовала разра-
ботка методических вопросов технологии изготовления
полупроводниковых пленок и техники измерения их элек-
трофотографических параметров, без которых установление
скольких-нибудь общих закономерностей было бы невоз-
можным. Кроме исследования слоев для классического

варианта электрофотографического процесса, в работе была поставлена задача: исследовать варианты электрофотографического процесса, которые позволяют снизить требования к темновому сопротивлению полупроводникового материала и тем самым к ширине его запрещенной зоны.

Содержание диссертации изложено в трех главах и заключении.

Глава I содержит анализ физических процессов, происходящих в электрофотографических слоях селена при образовании скрытого электростатического изображения.

Электрофотографический слой представляет собой пленку высокоомного фоточувствительного полупроводникового вещества, нанесенного на проводящую подложку. Пленка полупроводника становится электрофотографическим слоем только после нанесения на ее поверхность электростатического заряда. Этот заряд при экспонировании создает потенциальный рельеф в соответствии с количеством поглощенного слоем излучения. Образовавшееся электростатическое изображение визуализируется с помощью заряженных порошков. Порошковое изображение может быть закреплено на слое или перенесено на несветочувствительную подложку.

В первом параграфе дано описание операций технологического цикла получения электрофотографического изображения. Отмечено, что технологический процесс получения электрофотографического изображения позволяет использовать селеновый слой многократно. На фоточувствительном слое можно получить до 10^5 копий. Слой становится непригодным к дальнейшему использованию не в результате изменения его электрофотографических свойств, а из-за механических повреждений.

Второй параграф посвящен изложению процессов электростатической сенсibilизации (зарядки) электрофотографического слоя. Основные положения его сводятся к следующему. Заряды, сенсibilизирующие слой, локализуются на поверхностных уровнях. Природа этих уровней может быть самой разнообразной, но в случае осаждения ионов из коронного разряда представляет интерес группа уровней, соответствующая молекулам газа, захваченным при хемосорбции. Так как невозможно отличить хемосорбированный ион от осевшего на поверхность слоя из коронного разряда, то последнему приписывается тот же

уровень, что и хемосорбированному. Положение этого уровня в энергетической схеме твердого тела определяется работой выхода электрона из материала слоя и средством к электрону хемосорбированной молекулы газа. Если уровень находится в запрещенной зоне, то вероятность длительного существования молекулы газа в заряженном состоянии велика, и ионы, осевшие из коронного разряда, создадут заряд, сохраняющийся длительное время. Плотность этого заряда зависит от физических свойств изучаемого слоя, внешних условий и характеристик используемых электризаторов. Кинетика изменения заряда может быть рассчитана по уравнению вида:

$$\frac{dq}{dt} = i(q) - L(q) - D(q) - N(q),$$

где q — плотность заряда поверхности;

$i(q)$ — плотность тока зарядки;

$L(q)$, $D(q)$, $N(q)$ — функции, характеризующие убыль заряда слоя за счет электропроводности, десорбции ионов и нейтрализации заряда ионами другого знака.

В третьем параграфе проведен анализ механизма разрядки электрофотографического слоя в отсутствие актиничного излучения и $i(q) = 0$. Эквивалентная схема электрофотографического слоя рассматривается как схема плоского конденсатора с пленкой фотополупроводника в качестве диэлектрической среды. При этом рассмотрении эффективная емкость системы ($C_{эф}$) является функцией времени и потенциала, для расчета кривой темновой разрядки в общем случае нужно знать функции $j = f(U)$, $C_{эф} = f(U)$, $C_{эф} = f(t)$. Связь между потенциалом слоя U , его зарядом и временем определится при этом выражением:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{1}{C_{эф}} \cdot \frac{dq}{dt} \cdot \frac{1}{1 + \frac{dC_{эф}}{dt} \cdot \frac{q}{C_{эф}}}$$

Для ряда частных случаев, когда выполняется условие $C_{эф} = const$, а кинетика спада потенциала определяется межзонной генерацией носителей тока, генерацией с поверхностных или объемных уровней, инжекцией из

подложки, расчет позволяет получить достаточно простые уравнения темновой разрядки, которые могут быть с успехом использованы при анализе экспериментальных результатов.

В четвертом параграфе первой главы рассмотрен комплекс вопросов, связанных с процессом разрядки слоев при экспонировании. Основным процессом, приводящим к образованию скрытого электростатического изображения в слоях селена, является фотопроводимость. Особенностью процесса фотопроводимости в рассматриваемом случае является неоднородность оптического возбуждения полупроводника, параллельность направления фототока градиенту интенсивности излучения, наличие запорных контактов и невыполнение условий нейтральности.

Во второй главе проведен анализ принципиальных возможностей электрофотографического процесса в отношении длинноволновой границы светочувствительности. Показано, что электрофотографические методы регистрации инфракрасных излучений имеют значительные преимущества в сравнении с фотографическими на основе галондосеребряных фотоматериалов. Проведение электростатической сенсibilизации непосредственно перед экспонированием фоточувствительного слоя, при сохранении принципа интегральности фотографического действия, значительно уменьшает действие фонового излучения, и отношение времени действия фона ко времени действия экспонирующего излучения может быть доведено до единицы. С другой стороны, успехи в технологии полупроводниковых материалов для фотоэлектрических приемников инфракрасной радиации создают предпосылки для создания слоев, светочувствительных во всем инфракрасном диапазоне спектра.

Показано, что сущность электрофотографического процесса в его классическом варианте требует, чтобы время релаксации поверхностного заряда t_R было больше операционного времени ($t_{оп}$) — времени между концом зарядки и концом проявления. Оценка длинноволновой границы спектра фоточувствительности электрофотографического слоя показала, что требование, с одной стороны, большой величины t_R , а с другой стороны, малой ΔE (ширины запрещенной зоны полупроводника) является противоречивым. У плоскостных аппаратов значение $t_{оп} = 30$ сек ограничивает S_L величиной $\lambda_{гр}$, равной

0,7—0,8 мкм. Обсуждаются условия, при которых возможен компромисс между требованиями большой величины t_R и малой ΔE . В рамках электрофотографического процесса с нанесением электростатического заряда на поверхность полупроводника существует возможность снизить требование к темновому сопротивлению слоя путем разделения функций сохранения заряда и генерации носителей тока между слоями, изготовленными из разных материалов. В таких системах (двойных, многослойных) низкоомный слой ответственен за светочувствительность, высокоомный — за сохранение заряда. Для образования под действием света потенциального рельефа необходимо, чтобы глубина проникновения электрического поля в низкоомный слой была сравнима с эффективной глубиной проникновения излучения собственной полосы поглощения. Кроме того, для того, чтобы носители тока могли достичь поверхностного заряда, необходима величина $\mu \cdot \tau$ (произведение подвижности на время жизни) не менее 10^{-8} см²/в. Обеспечение этих требований достигается соответствующей обработкой поверхности слоя, выбором материала зарядонесущего слоя, режимом его нанесения, последующей термообработкой и другими технологическими приемами.

Глава III содержит результаты экспериментального исследования способов панхроматизации и инфрахроматизации электрофотографических слоев.

В первом параграфе дано описание методики эксперимента. Для изготовления образцов использовался способ вакуумного напыления. Испарение исходного вещества осуществлялось на лабораторной установке колпакового типа. Исследовалось влияние температуры подложки (T_n), скорости напыления (V), давления остаточных газов (P) в камере испарения, материала подложки, концентрации легирующих добавок и способов их введения. Одновременно с изготовлением слоев измерялись их электрофотографические параметры. Измерение проводилось с помощью динамического электрометра с выносным зондом и циклического электрометра. Предложена и разработана методика циклического измерения потенциала быстродвижущихся объектов. В основе способа измерения лежит явление возникновения индуцированного тока в цепи электродов при перемещении между ними заряда. Основным элементом измерительной схемы является конденсатор постоянной емкости, состоящий из неподвижного зонда,

соединенного со входом усилителя постоянного тока и вращающегося с частотой ω цилиндра, на поверхности которого укреплен измеряемый образец. При вращении цилиндра поверхность слоя, несущего заряд, периодически проходит зону неподвижного зонда. Во входной цепи электрометра возникает ток, пропорциональный потенциалу слоя. Уменьшение операционного времени в такой методике до 0,01 сек делает ее удобной для изучения быстрых релаксационных процессов.

Второй параграф содержит результаты исследования влияния технологических параметров процесса нанесения слоя на электрофотографические характеристики селеновых слоев. Исследованные слои были изготовлены способом вакуумного напыления из селена ГОСТ 67-38-53, который подвергался дополнительному анализу на содержание теллура, мышьяка, кадмия.

Установлено, что основное влияние на параметры селеновых слоев оказывает температура подложки в процессе напыления. В зависимости от T_{II} образуются две формы аморфного селена с характерной униполярностью электрофотографических свойств. Первая форма существует при температурах $T_{II} = 20^\circ\text{C}$, вторая — при $T_{II} = 70^\circ\text{C}$. В области переходных температур совместное существование двух аморфных форм приводит к биполярности характеристик слоя.

Показано, что положительный предельный потенциал (U^+) в области $T_{II} = 20 - 90^\circ\text{C}$ монотонно не зависит от температуры подложки. Максимальное значение величины U^+ достигается при $T_{II} = 83^\circ\text{C}$. Величина эффективной светочувствительности $S_{\text{эф}}^-$ практически не зависит от температуры подложки в области температур подложки до 20°C и монотонно возрастает при $T_{II} > 20^\circ\text{C}$. Спектральное распределение светочувствительности S_{λ}^+ слоев, нанесенных на подложки при $T_{II} < 70^\circ\text{C}$, ограничено сине-зеленой частью видимого спектра. При $T_{II} > 70^\circ\text{C}$ на графике $S_{\lambda} = f(\lambda)$ появляется дополнительный максимум в зоне спектра 0,690—0,800 мкм. Величина $S_{\text{эф}}^+$ в зоне спектра 0,69—0,8 мкм увеличивается при увеличении T_{II} . При этом длинноволновая граница фоточувствительности сдвигается до 1,1 мкм. При $T_{II} = 90^\circ\text{C}$ величина $S_{\lambda} = 0,71$ мкм составляет $0,8$ (мк. дж/см²)⁻¹. Если температура подложки не превышает

70°C , аморфные селеновые слои способны заряжаться в поле отрицательной короны. Впервые наблюдалось образование зоны светочувствительности с $\lambda_{\text{max}} = 0,71$ мкм у электроотрицательных селеновых слоев, нанесенных на подогреваемые подложки. При $\lambda = 0,71$ мкм и $T_{II} = 60^\circ\text{C}$ значение $S_{\lambda}^- = 0,01$ (мк. дж/см²)⁻¹. Обнаружено, что в интервале температур $T_{II} = 20 - 60^\circ\text{C}$ для U и dU/dt наблюдается зависимость от условий сенсibilизации (зарядного тока, циклов зарядки, экспонирования). Изменение скорости напыления от 0,5 до 3 мкм/мин., давления остаточных газов от $5 \cdot 10^{-3}$ до 10^{-6} торр не оказывает существенного влияния на свойства селеновых слоев.

Третий параграф содержит результаты исследования технологического процесса изготовления селен-теллуrowых, селен-мышьяковых и селен-кадмиевых электрофотографических слоев. В первой части изложены результаты исследования технологического процесса изготовления селен-кадмиевых электрофотографических слоев. Исследовано два способа введения кадмия в селеновый слой: раздельного испарения компонент и испарения предварительно сплавленных навесок.

Показано, что при введении в селеновые слои до 8 вес. % Cd:

1) Величина положительного предельного потенциала с увеличением концентрации кадмия изменяется не монотонно. Максимальное значение U^+ наблюдается при концентрации примеси 0,01 и 6 вес. %. Величина отрицательного предельного потенциала (U^-) практически не зависит от концентрации примеси, вплоть до 6 вес. %. Слои, содержащие 8 вес. % примеси, утрачивают способность к сенсibilизации.

2) Эффективная светочувствительность селенового слоя увеличивается с увеличением содержания кадмия в слое. При этом возникает светочувствительность в красной и ближней инфракрасной областях спектра. Для слоев, содержащих 6 вес. % Cd, величина $S_{\text{эф}}$ за светофильтром KC17 составляет $0,12$ (мк. дж/см²)⁻¹.

3) Введение примеси кадмия изменяет соотношение между dU^-/dt и dU^+/dt . Для слоев, содержащих 5 вес. % Cd, выполняется условие $dU^-/dt = dU^+/dt$ как в темноте, так и при экспонировании.

Приводятся результаты исследования влияния материала подложки, температуры подложки, давления остаточных газов в камере испарения, скорости испарения на электрофотографические параметры слоев, изготовленных из сплава селена с добавкой 0,01; 0,5; 1; 6 вес. % Cd.

Во второй части изложены результаты разработки технологии изготовления селен-теллурических слоев.

Показано, что с увеличением концентрации примеси, предельный потенциал слоя монотонно падает, скорость темновой разрядки слоя увеличивается, эффективная светочувствительность возрастает. Максимальной светочувствительностью обладают слои, содержащие 10 вес. % Te, величина $S_{эф}$ достигает $1 \text{ (мк. дж/см}^2\text{)}^{-1}$. Из-за различия в температурных зависимостях упругости паров селена и теллура к воспроизводимым результатам приводит только испарение предварительно сплавленных навесок. Обнаружено, что свойства слоев, полученных испарением сплава, существенно зависят от давления остаточных газов (P_c) в объеме сплавления. Уменьшение P_c приводит к возрастанию U^+ до максимального значения при $P_c = 5 \cdot 10^{-2}$ торр. Дальнейшее уменьшение P_c приводит к смене знака сенсibilизации. Приводятся зависимости электрофотографических параметров селен-теллурических слоев, изготовленных из навесок, сплавленных при $P_c = 5 \cdot 10^{-2}$ торр и при $P_c = 1 \cdot 10^{-4}$ торр, от температуры подложки.

В третьей части изложены результаты исследования селен-мышьяковых слоев.

Исследованы слои системы селен-мышьяк, полученные термическим испарением в вакууме сплава, содержащего 10, 20, 30, 40, 48, 7 ат. % As. Слои наносились на дюралевые подложки, находящиеся при $T_{п} = 20 - 200^\circ\text{C}$, со средней скоростью конденсации 0,8 мкм/мин.

Показано, что введение мышьяка в селеновый слой в концентрации до 30 ат. % значительно повышает электрическую прочность слоя. Величина поля, ограничивающая предельную плотность заряда, составляет 50 в/мкм. Исследованные образцы имеют повышенную термостойкость — кристаллизация селеновых слоев с примесью мышьяка начинает проходить при температуре $150 - 200^\circ\text{C}$. Слои, находящиеся при температуре подложки $100 - 125^\circ\text{C}$ и содержащие 20 ат. % As, имеют аморфную структуру.

Обнаружено, что электрофотографические слои селена с примесью мышьяка характеризуются малыми временами полуспада ($t_{пс}$) потенциала в темноте. В области $T_{п} > 100^\circ\text{C}$ величина $t_{пс}$ уменьшается с ростом температуры. В области $T_{п} < 100^\circ\text{C}$ наблюдаются сложные зависимости $t_{пс} = f(T_{п})$. Спад потенциала неэкспоненциален. В области высоких U^+ наблюдается быстрый спад с $t_{пс} = 1 - 3$ сек, а в области низких — $t_{пс}$ возрастает на порядок.

Установлено, что введение нескольких атомных процентов примеси значительно изменяет спектральное распределение светочувствительности селенового слоя. Зона светочувствительности с $\lambda_{\text{max}} = 0,71$ мкм исчезает, граница фотоувствительности смещается до 0,7 мкм. Расширение спектральной характеристики значительно повышает эффективную светочувствительность слоев селена. Если $S_{эф}$ контрольного слоя селена не превосходит $0,1 \text{ (мк. дж/см}^2\text{)}^{-1}$, то добавка мышьяка увеличивает ее до $2 - 4 \text{ (мк. дж/см}^2\text{)}^{-1}$. Электрофотографические слои системы селен-мышьяк заряжаются в поле отрицательной короны, однако их эффективная светочувствительность при этом знаке поверхностного заряда составляет всего несколько процентов от светочувствительности селенового слоя.

Установлено, что нанесение на слой $\text{Se}_n \text{As}_m$ слоя аморфного селена толщиной 2—14 мкм повышает время темновой релаксации потенциала до 100 сек. Оптимальная толщина слоя селена 8—10 мкм. Увеличение ее сверх 10 мкм приводит к снижению эффективной светочувствительности системы $\text{Se} - \text{Se}_n \text{As}_m$. Обнаружена зависимость длинноволновой светочувствительности от времени между концом зарядки и началом экспонирования. Постоянная затухания длинноволновой светочувствительности коррелируется со временем релаксации заряда в слоях $\text{Se}_n \text{As}_m$ и составляет 20—30 сек. Наличие зависимости $S_{эф} = f(t)$ приводит к квазиотклонению от закона взаимозаместимости двухслойной структуры при поверхностной плотности потока излучения, меньшей $0,1 \text{ мк. вт/см}^2$.

Четвертый параграф содержит результаты исследования многослойных структур. Излагается технология изготовления структур типа $\text{CdSe} - \text{Se}$, рассматривается влияние различных факторов в процессе изготовления на ее

электрофотографические параметры. Исследованы многослойные структуры, изготовленные методом конденсации вещества в вакууме при давлении остаточных газов 10^{-5} торр. на подложки из стекла, покрытые проводящей пленкой SnO_2 . Толщина образцов поддерживалась равной 20 мкм; толщина отдельных прослоек изменялась в пределах от 0,1 до 1 мкм. Установлено, что спектральные характеристики структуры $\text{CdSe}-\text{Se}$ представляют собой суперпозицию спектральных характеристик фоточувствительности прослоек селена и прослоек селенида кадмия. На графике зависимости $S_\lambda = f(\lambda)$ обнаружено два максимума: в зоне спектра 0,4—0,5 мкм и в зоне спектра 0,7—0,74 мкм. Величина S_λ при $\lambda=0,9$ мкм составляет $4 (\text{мк. дж/см}^2)^{-1}$. Абсолютная величина светочувствительности многослойной структуры возрастает с увеличением толщины прослоек.

Приводятся результаты исследования двухслойных структур $\text{PbS}-\text{CdSe}$, полученных способом осаждения из суспензии. Измерения параметров слоев проведены в электрофотографическом режиме и режиме поперечного фотосопротивления. Показана возможность использования таких структур в электрофотографических процессах для спектрального диапазона 0,8—1,2 мкм.

Пятый параграф содержит результаты исследования фотоэлектрических и оптических характеристик слоев аморфного селена. В его первой части изложены результаты измерений, проведенных на слоях аморфного селена, содержащего примесь теллура в количестве до 10 вес. % и примесь As в количестве до 40 ат. %. Введение в селен больших количеств примеси возмущает решетку селена и приводит к появлению ряда особенностей в их характеристиках, отличающих их от беспримесных слоев. На кривых фоторазрядки впервые наблюдалась S-образность. Участок нарастания скорости фоторазрядки при облученности 5 мк-вт/см^2 составляет 0,2—0,4 сек. Величина $\Delta U = U_0 - U_n$ (U_0 — начальный потенциал, U_n — потенциал перегиба кривой фоторазрядки) составляет 15—20% от U_0 . Инерционность нарастания скорости фоторазрядки увеличивается с уменьшением освещенности. Предварительная засветка уменьшает S-образность. Величина наблюдаемого эффекта зависит от спектрального состава излучения. Максимум эффекта наблюдается при $0,6 < \Delta\lambda > 0,75$ мкм. Остаточный потенциал у образцов, обнаруживающих S-образность, отсутствует.

Другой особенностью исследованных слоев является их световая память — длительное сохранение состояния фотовозбуждения, созданного предварительной засветкой. Световая память проявляется в ускоренной темновой релаксации поверхностного заряда фотовозбужденного слоя по сравнению с нефотовозбужденным. Относительная начальная скорость темнового спада потенциала зависит от уровня оптической активации образца, спектрального состава активирующего излучения и уменьшается с увеличением темновой паузы между активацией и зарядкой образца.

Так как S-образность кривой фоторазрядки и световая память в исследованных слоях сопутствуют друг другу, то можно предположить, что эти явления обусловлены одним и тем же механизмом. Медленное нарастание и спад фототока в фотополупроводниках при импульсном возбуждении объясняются захватом носителей на уровни прилипания. Введение примеси приводит к увеличению концентрации объемных глубоких уровней прилипания для одного или обоих видов носителей, время захвата которых значительно меньше времени жизни свободного носителя. Инерционность нарастания концентрации фотоносителей, обусловленная заполнением уровней прилипания, приводит к S-образности кривой фоторазрядки слоя. Световая память связана с медленным спадом концентрации свободных носителей — с опустошением глубоких ловушек, заполненных предварительным возбуждением.

В этом предположении получено уравнение, описывающее относительный спад потенциала со временем, прошедшим после фотовозбуждения. Расчетные кривые относительного спада потенциала удовлетворительно согласуются с экспериментальными при следующих значениях параметров, характеризующих уровни прилипания: концентрация — 10^{19} см^{-3} , глубина — 0,75 э. в.

Во второй части излагаются методика и результаты исследования поглощения аморфных селеновых слоев в сильных электрических полях. Полученные результаты обсуждаются на основе формул Франца-Келдыша. Измерения проводились в полях напряженностью до $7 \cdot 10^5$ в/см. Поля напряженностью до $1 \cdot 10^5$ в/см создавались с помощью прижимного электрода. Для создания полей, больших $1 \cdot 10^5$ в/см, использовался ионный контакт. Установлено, что нанесение на поверхность пленки аморфного селена зарядов из коронного разряда вызывает обратимое

увеличение поглощения света в интервале длин волн 0,600—0,640 мкм. Сдвиг края основной полосы поглощения селена, отнесенной к единице поля, составляет $0,7 \cdot 10^{-8}$ эв/в/см.

Для сравнения укажем, что для монокристаллов арсенида галлия величина $\frac{\Delta W}{E} = 0,7 \cdot 10^{-5}$ эв/в/см. Малая величина сдвига края основной полосы поглощения аморфного селена объясняется, по-видимому, большой величиной эффективной массы электронов и дырок в селене. Согласно формуле Франца, сдвиг обратно пропорционален эффективной массе электронно-дырочной пары. Эффективная масса электронно-дырочной пары в арсениде галлия составляет $0,065 m_0$. В аморфном селене эффективная масса, по данным различных авторов, составляет от 2,5 до $20 m_0$. Подобное различие в эффективных массах носителей тока качественно объясняет указанное выше различие в величинах удельного сдвига края полосы поглощения в арсениде галлия и аморфном селене. Количественное соответствие величины сдвига в аморфном селене с величиной, вычисленной, по формуле Франца, достигается, если принять эффективную массу электронно-дырочной пары, равной $2,6 m_0$.

Шестой параграф содержит комплекс вопросов, связанных с новым электрофотографическим процессом для инфракрасной области спектра.

Классический вариант электрофотографического процесса накладывает жесткие требования на величину темновой проводимости σ_T слоя: σ_T — должно быть порядка $1 \cdot 10^{-13}$ (ом. см) $^{-1}$ и менее. В вариантах с двойными слоями требование к σ_T снижается, однако остается еще достаточно высоким, чтобы значительно ограничить круг применимых в электрофотографии полупроводниковых материалов. Характерным для упомянутых вариантов электрофотографического процесса является то обстоятельство, что полупроводниковый слой используется в условиях, когда направление электрического поля в слое параллельно экспонирующему излучению.

Предложено использовать для получения электрофотографического изображения неоднородный по электропроводности в направлении электрического поля фотополупроводниковый слой в таких условиях, когда направление электрического поля в слое и направление экспонирующего излучения взаимно перпендикулярны.

Если приложить напряжение к слою, то оно вследствие неоднородности слоя распределится неравномерно, на границах участков различной электропроводности будут скапливаться электрические заряды. При освещении слоя вследствие фотопроводимости приложенное напряжение перераспределяется между элементами слоя, плотность заряда на границах участков также изменится. Таким образом, освещение модулирует неоднородность тангенциальной составляющей напряженности электрического поля. Соответственно при этом модулируется и неоднородность нормальной составляющей напряженности электрического поля вне слоя. Если в момент приложения напряжения к слою, на который спроектировано изображение, опылить его мелкодисперсным порошком, то при определенных условиях рельеф, соответствующий распределению освещенности, проявится.

Указываются способы приготовления неоднородных слоев, описывается устройство для получения изображения в поперечном режиме. Анализируются условия получения максимального контраста. Способ проверен на слоях селена, полученных испарением в вакууме, на слоях йодной ртути, диспергированной в растворе этилцеллюлозы с последующим поливом эмульсии на подложку, на пластинках монокристаллического германия, поверхность которых гетерогенизировалась методом локального легирования. Получено разрешение $40\text{--}50 \text{ мм}^{-1}$ при светочувствительности $0,2\text{--}0,3 \text{ (лк.сек)}^{-1}$ и напряженности поля $5 \cdot 10^3$ в/см.

Основные выводы по работе

1. Разработана новая методика исследования параметров электрофотографических слоев. Для измерения релаксационных процессов с малыми постоянными времени предложено использовать циклический электрометр. Электрометр позволяет измерить заряд, спустя 0,01 сек после его возникновения.

2. Разработан и исследован технологический процесс инфрахроматизации аморфных селеновых слоев. Показано, что инфрахроматизация селеновых слоев возможна как при положительном, так и при отрицательном знаке заряда поверхности. Интенсификация температурного режима напыления позволяет получить слои с границей фоточувствительности $1\text{--}1,1 \text{ мкм}$ и величиной S^+ при $\lambda = 0,71 \text{ мкм}$, равной $0,8 \text{ (мк.дж/см}^2\text{)}^{-1}$.

3. Обнаружен новый максимум фотопроводимости при сенсibilизации селена отрицательными ионами кислорода. Величина S_{λ}^{-} при $\lambda=0,7$ мкм равна $0,01$ $(\text{мк.дж/см}^2)^{-1}$.

4. Разработана и исследована технология изготовления селен-теллуровых, селен-мышьяковых, селен-кадмиевых электрофотографических слоев.

5. Исследовано влияние примеси Te, Cd, As на спектральное распределение светочувствительности аморфного селенового слоя. Установлено, что введение примеси подавляет у селенового слоя зону светочувствительности с $\lambda_{\text{max}}=0,71$ мкм, при этом увеличивается квантовый выход фотоэффекта в зоне спектра $0,5-0,65$ мкм. Расширение спектральной характеристики значительно повышает эффективную светочувствительность слоев селена. Если $S_{\text{эф}}^{+}$ контрольного слоя селена не превосходит $0,1$ $(\text{мк.дж/см}^2)^{-1}$, то добавка кадмия повышает ее до $0,5$ $(\text{мк.дж/см}^2)^{-1}$, теллура — до 1 $(\text{мк.дж/см}^2)^{-1}$, мышьяка до $2-4$ $(\text{мк.дж/см}^2)^{-1}$.

6. Обнаружено, что введение примеси позволяет получить селеновые слои с параметрами, симметричными относительно знака заряда их поверхности.

7. Проведен анализ работы двойных электрофотографических структур, исследована технология изготовления слоев на основе селенида кадмия и сернистого свинца. Показана возможность использования этих веществ в электрофотографическом процессе для спектрального диапазона $0,8-1,2$ мкм.

8. Впервые на аморфных селеновых слоях наблюдалось и исследовалось явление S -образности фоторазрядной характеристики с участком нарастания скорости фоторазрядки при облучении 5 мк.вт/см² $0,2-0,4$ сек.

9. Впервые на аморфных селеновых слоях наблюдалось и исследовалось явление „световой памяти“ — длительное сохранение состояния фотовозбуждения слоя.

10. Показано, что кинетика процессов темновой и световой разрядки слоев селена с добавкой нескольких весовых процентов примеси обусловлена наличием большой концентрации объемных уровней прилипания. Получено уравнение, характеризующее кинетику разрядки слоев, подвергнутых предварительной активации.

11. Разработана методика исследования спектров поглощения пленок селена в сильных электрических полях. Для создания в исследуемом образце полей до $7 \cdot 10^5$ в/см впервые применен ионный контакт. Обнаружено обратное увеличение поглощения света в интервале длин волн $0,6-0,64$ мкм с удельным сдвигом края основной полосы поглощения $0,7 \cdot 10^{-8}$ эв/в/см.

12. Предложен новый способ получения электрофотографического изображения, в котором требование высокого темнового сопротивления слоя не ограничивает круг полупроводниковых веществ, применимых в электрофотографии.

Материалы диссертации были доложены на:

Первой Всесоюзной конференции по физическим основам электрофотографии. Вильнюс, 1966 г.

Второй Всесоюзной конференции по физическим основам электрофотографии. Вильнюс, 1969 г.

Третьей Всесоюзной научно-технической конференции по вопросам электрофотографии. Вильнюс, 1967 г.

Всесоюзном семинаре „Репрография, оперативная полиграфия, промышленная фотография“. Москва, 1969 г.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бондаренко О. М., Подвигалкин П. М. Авт. св-во № 164890 с приоритетом от 25/V-63 г. Бюллетень № 17 от 4. IX. 64 г.

2. Бондаренко О. М., Подвигалкин П. М. Тезисы докладов I Всесоюзной конференции по физическим основам электрофотографии. Вильнюс, 1966 г.

3. Бондаренко О. М. Глузман Н. Г., Подвигалкин П. М. Тезисы докладов I Всесоюзной конференции по физическим основам электрофотографии. Вильнюс, 1966 г.

4. Бондаренко О. М. Тезисы докладов III Всесоюзной конференции по вопросам электрофотографии. Вильнюс, 1967 г.

5. Бондаренко О. М. Известия Ленинградского ордена Ленина электротехнического института имени В. И. Ульянова (Ленина), выпуск 72, Ленинград, 1968 г.

6. Бондаренко О. М. Сб. Репрография, оперативная полиграфия, промышленная фотография. Москва, 1969 г., стр. 176.

7. Бондаренко О. М. Сб. Репрография, оперативная полиграфия, промышленная фотография. Москва, 1969 г., стр. 181.

8. Бондаренко О. М., Глузман Н. Г., Подвигалкин П. М. „Оптико-механическая промышленность“ 1969 г., № 5.

9. Бондаренко О. М., Подвигалкин П. М. Сб. Физические основы электрофотографии, стр. 44. Вильнюс, 1969 г.

10. Бондаренко О. М., Подвигалкин П. М. ЖНиПФик 15. 3 1970 г.

11. Бондаренко О. М., Ислямов В. А., Подвигалкин П. М. Сб. Электрофотографические копировально-множительные аппараты и материалы к ним. Вильнюс, 1970., стр. 116.

12. Бондаренко О. М., Лисина В. М., Подвигалкин П. М. Сб. Электрофотографические копировально-множительные аппараты и материалы к ним. Вильнюс, 1970 г., стр. 119.