

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА
ВЕЛИКОГО
(ФГАОУ ВО СПбПУ)
Институт электроники и телекоммуникаций
Высшая школа электроники и микросистемной техники

ОТЧЕТ ПО ПРОЕКТУ
Разработка технологического цикла изготовления органического
светоизлучающего диода

ПО ДИСЦИПЛИНЕ:
Управление научным проектом

Руководитель
проекта



21.06.2024

А.О. Ситникова

подпись, дата

инициалы и фамилия

Оценка выполненной работы:

Преподаватель

О.А. Головань

подпись, дата

инициалы и фамилия

Санкт-Петербург

2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Обзор патентных исследований в области технологии изготовления ОСИД и обзор литературы по теме исследования	4
Обоснование выбора материала для создания тонких плёнок органических активных материалов в технологическом цикле изготовления органического светоизлучающего диода.....	7
Обоснование выбора органического материала для изготовления тонкопленочного диэлектрика.....	14
Обоснование выбора материала для изготовления прозрачных пленочных электрических контактов с омическими характеристиками	17
Обоснование выбора материала для изготовления прозрачных пленочных электрических контактов с омическими характеристиками	34
Технологический маршрут.....	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире OLED-экраны становятся все более востребованными благодаря своим уникальным свойствам, таким как высокое качество изображения, широкий цветовой охват, тонкая конструкция и низкое энергопотребление. Для производства OLED-экранов ключевым фактором является выбор подходящих материалов и технологий производства, которые обеспечат высокую эффективность процесса и качество конечного продукта.

Настоящий проект посвящен изучению и выбору оптимальных материалов для производства OLED-экранов с использованием современных аддитивных технологий. Аддитивные технологии представляют собой инновационный подход к процессу производства, который позволяет создавать сложные структуры и улучшать свойства материалов с высокой точностью и эффективностью.

Целью данного проекта является разработка технологического маршрута, который позволит оптимизировать процесс производства OLED-экранов, начиная с выбора и обоснования подходящих материалов и заканчивая оптимизацией методов нанесения и обработки. Путем анализа различных материалов, исследования их характеристик и свойств, а также оптимизации производственных процессов, будущий проект может быть направлен на создание эффективной и устойчивой системы производства OLED-экранов высокого качества.

Предполагается, что результаты проекта не только помогут определить оптимальные материалы для производства OLED-экранов, но и сформировать основу для будущих исследований в области разработки новых технологий и материалов для электроники будущего.

Обзор патентных исследований в области технологии изготовления ОСИД и обзор литературы по теме исследования

Уже существует большое количество исследований, связанных с технологией изготовления OLED. Эти патенты касаются различных аспектов производства OLED, включая химические составы материалов, методы нанесения тонких слоев, управление световым потоком и температурой, а также разработку новых типов OLED с улучшенными характеристиками.

Среди наиболее актуальных тем исследований в области OLED можно выделить разработку новых материалов и структур, увеличение эффективности и яркости дисплеев, увеличение срока службы OLED, снижение затрат на производство и повышение экологической устойчивости технологии.

Органические светодиоды (OLED) – это диоды, в которых излучающий слой представляет собой органическое соединение. Они состоят из: подложки, катода, слоев органических материалов, прозрачного анода. Физический принцип генерации светового излучения OLED основан на явлении электролюминесценции в органических низкомолекулярных соединениях и в полимерах.

Существует несколько разновидностей технологий изготовления OLED, которые постоянно развиваются и совершенствуются.

Одним из различий является материал светоизлучающего слоя. В качестве светоизлучающих материалов используются низкомолекулярные органические вещества (sm-OLED) и полимеры (PLED). Полимерные же в свою очередь разделяют на полимеры, полимерорганические (POLED) и фосфоресцирующие (PHOLED) соединения. Технология PHOLED используют принцип электрофосфоресценции, что позволяет преобразовывать до 100% электрической энергии в свет, что в свою очередь способствует улучшению яркости и насыщенности излучаемого света

Одними из перспективных инноваций для OLED стали TOLED и QDLED. Преимущество технологии TOLED заключается в том, чтобы

использовать не только прозрачный анод, но и прозрачный катод, делая таким образом весь элемент прозрачным для света. Прозрачность позволяет повысить контрастность, а также использовать любые непрозрачные подложки.

На основе TOLED также разработаны сложенные OLED (SOLELED). Сложность структуры заключается в вертикальной архитектуре. Красный, синий и зеленый подпиксели располагаются друг над другом и имеют независимое управление. Кроме того, в силу сокращения размеров будущего пикселя, достигается высокая плотность их размещения, и как следствие, увеличение разрешения.

Еще одной перспективной технологией является QDLED, которая основывается на использовании квантовых точек. Данная технология может значительно повысить качество цвета, однако, пока что эффективность данной технологии уступает существующим.

Кроме изменений в светоизлучающем материале, также происходили и изменения в используемой подложке. На замену стандартному стеклу пришли пластик и металлическая фольга, открывая тем самым, возможность гибкости данного элемента. Такие типы OLED (FOLED) помимо гибкости, также увеличили свою долговечность и уменьшились в весе и толщине.

Существуют также белые ОСИД (WOLED). Для получения белого света необходимо иметь широкополосное излучение или излучения двух или трёх цветов. Так как при смешивании стандартных трех цветов можно получить не только белый цвет, но и все остальные, существующие, то далее приводятся способы создания цветных ячеек.

Для создания необходимого цвета ячейки также используются различные способы. Один из основан на использовании различных эмиттеров, то есть органических соединений, излучающих цвет в требуемом диапазоне. Они располагаются горизонтально, рядом друг с другом.

Более простым является метод, в котором используются белые эмиттеры (WOLED) и последующее излучение через цветные фильтры. Тем не менее, этот метод проигрывает в эффективности.

Третий же вариант основан на применении голубых эмиттеров и специально подобранных люминесцентных материалов для преобразования коротковолнового голубого излучения в более длинноволновые – красный и зеленый.

При изготовлении органических светодиодов используются следующие способы осаждения органических молекул:

1. Осаждение органического вещества из паровой фазы: при низком давлении в камере нагретое органическое вещество переносится газом-носителем к охлаждённой подложке и осаждается на ней в виде тонкой плёнки;
2. Вакуумное осаждение или вакуумное термическое испарение нагретые в вакуумной камере органические молекулы переносятся к холодной подложке и осаждаются на ней в виде тонкой плёнки. Процесс дорогостоящий и неэффективный;
3. Струйная печать: молекулы «разбрызгиваются» по поверхности подложки. Процесс значительно уменьшает стоимость изготовления.

Таким образом, совершенствование технологий изготовления с каждым разом устраняет недостатки и открывает дополнительные возможности OLED.

Обоснование выбора материала для создания тонких плёнок органических активных материалов в технологическом цикле изготовления органического светоизлучающего диода

Органические светоизлучающие диоды представляют собой перспективную технологию в области электроники и освещения, их структура представлена на рисунке 1. Они обладают высокой яркостью, широким цветовым спектром, тонким профилем и гибкостью, что делает их привлекательными для широкого спектра приложений, от мобильных устройств до больших панелей дисплеев.



Рисунок 1 – Структура OLED

Центральным элементом OLED являются тонкие плёнки органических активных материалов, которые обеспечивают электро-оптические свойства устройства. Выбор подходящих материалов играет решающую роль в обеспечении высокой производительности и стабильности OLED-дисплеев. Рассмотрим обоснование выбора материалов для создания таких плёнок.

1. Излучающие материалы (EML):

Излучающие материалы (Electroluminescent Materials, EML) представляют собой вещества, способные испускать свет в ответ на

электрическое воздействие. Они играют ключевую роль в различных приложениях, включая дисплеи, освещение и сенсоры. Вот подробное описание их особенностей, типов и применений:

Основные принципы работы:

Излучающие материалы работают на основе явления электролюминесценции, при котором электрическая энергия преобразуется в световую. Когда на материал подается электрическое поле, электроны и дырки (положительно заряженные частицы) рекомбинируют, выделяя энергию в виде фотонов (света).

Типы излучающих материалов:

Органические излучающие материалы (OLED):

Используются в органических светодиодах (OLED-дисплеях).
Примеры: поли(п-фениленвинилен) (PPV), поли(3,4-этилендиокситиофен) (PEDOT), другие органические полимеры.
Преимущества: гибкость, возможность создания тонких и легких дисплеев.
Недостатки: склонность к деградации со временем, что влияет на срок службы.
Неорганические излучающие материалы (LED):

Используются в традиционных светодиодах.
Примеры: нитрид галлия (GaN), карбид кремния (SiC), фосфид галлия (GaP).
Преимущества: высокая яркость, долговечность, высокая эффективность.
Недостатки: обычно жесткие и менее гибкие по сравнению с органическими материалами.

Квантовые точки (Quantum Dots):

Нанокристаллы полупроводников, которые испускают свет при возбуждении.

Примеры: кадмий-селенидные (CdSe) квантовые точки.

Преимущества: возможность точной настройки цвета излучения, высокая яркость.

Недостатки: потенциальная токсичность некоторых материалов (например, кадмия).

Полимерные светодиоды (PLED):

Особый тип органических излучающих материалов, использующий полимеры.

Примеры: поли(фениленвинилен) (PPV) и его производные.

Преимущества: простота изготовления, гибкость.

Недостатки: аналогичны органическим материалам, подвержены деградации.

Применение излучающих материалов

Дисплеи:

OLED-дисплеи широко используются в смартфонах, телевизорах и носимых устройствах благодаря их высокой контрастности и гибкости.

LED-дисплеи применяются в больших экранах, рекламных вывесках и освещении.

Освещение:

Светодиоды на основе GaN и других неорганических материалов используются в домашнем, уличном и промышленном освещении из-за их эффективности и долговечности.

Сенсоры и устройства визуализации:

Излучающие материалы используются в различных сенсорах, включая биосенсоры и медицинские устройства, для обнаружения и визуализации биологических и химических веществ.

Прочие приложения:

Квантовые точки находят применение в солнечных элементах и лазерах благодаря их уникальным оптическим свойствам.

EML могут также использоваться в безопасности и сигнализации, создавая яркие и заметные световые индикаторы.

2. Транспортные материалы (ETL и HTL):

Электронные транспортные слои (ETL) и слои транспорта дырок (HTL) обеспечивают эффективное движение заряженных частиц в устройстве. Для

смещения излучательной рекомбинации инжектированных зарядов из приэлектродного пространства используются транспортные слои. Транспортный слой представляет собой молекулярнодопированные полимеры, в которых в полимерную матрицу вводятся соединения с донорными и/или акцепторными свойствами, обеспечивающими транспорт дырок и/или электронов. Примером электронного транспортного слоя может являться слой из 2-(4-бифенил)-5-(4- *трет*-бутилфенил)-1,3,4-оксадиазола (ФБД) (рис.2) молекулярно диспергированного в полиметилметакрилате (ПММА).

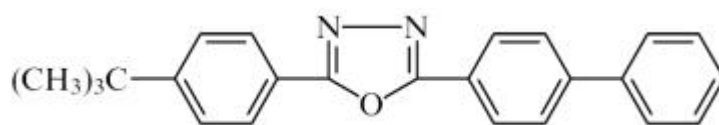


Рисунок 2 – Структура 2-(4-бифенил)-5-(4- *трет*-бутилфенил)-1,3,4-оксадиазола

Полимеры, такие как поли(п-фениленвинилен), широко используются в качестве транспортных материалов благодаря их высокой мобильности и хорошей совместимости с другими слоями OLED.

3. Блокирующие материалы:

Блокирующие материалы (Hole Blocking Materials, HBM, и Electron Blocking Materials, EBM) являются ключевыми компонентами в современных оптоэлектронных устройствах, таких как светодиоды (LED), органические светодиоды (OLED) и солнечные элементы. Их основная функция заключается в улучшении работы устройства путем предотвращения нежелательной рекомбинации носителей заряда (электронов и дырок) в определённых слоях. Это способствует повышению эффективности и долговечности устройств.

Основные принципы работы:

Блокирующие материалы создают энергетические барьеры, которые препятствуют прохождению определённых типов носителей заряда (электронов или дырок), но позволяют другим типам носителей проходить свободно. Это гарантирует, что рекомбинация носителей заряда, которая отвечает за излучение света или генерацию тока, происходит в активном слое устройства.

Типы блокирующих материалов

1. Материалы для блокировки дырок (Hole Blocking Materials, HBM)

Основная функция: Предотвращение попадания дырок в слой, предназначенный для транспортировки электронов.

Примеры:

Оксид цинка (ZnO): Широко используется в органических солнечных элементах и OLED-дисплеях благодаря своим хорошим электронным свойствам и прозрачности.

Фторированный поли(3,4-этилендиокситиофен) (F-PEDOT):
Используется для улучшения стабильности и эффективности OLED.

2. Материалы для блокировки электронов (Electron Blocking Materials, EBM)

Основная функция: Предотвращение попадания электронов в слой, предназначенный для транспортировки дырок.

Примеры:

Оксид алюминия (Al_2O_3): Часто применяется в светодиодах благодаря высокой барьерной энергии для электронов и химической стабильности.

Трис(8-гидроксихинолин) алюминия (Alq_3): Органический материал, широко используемый в OLED-дисплеях для повышения эффективности излучения.

Применение блокирующих материалов

Светодиоды (LED и OLED):

В светодиодах блокирующие материалы помогают управлять потоком носителей заряда, что улучшает яркость, энергоэффективность и срок службы устройств.

В OLED-дисплеях HBM и EBM используются для достижения высокой контрастности и насыщенности цветов, улучшая качество изображения.

Солнечные элементы:

В органических и гибридных солнечных элементах блокирующие материалы снижают рекомбинационные потери, повышая эффективность преобразования энергии.

Пример: Использование ZnO как HBM для улучшения производительности солнечных элементов.

Лазеры и другие оптоэлектронные устройства:

В лазерах блокирующие материалы управляют распределением носителей заряда, способствуя стабильной работе и повышению эффективности.

Примеры использования

Оксид цинка (ZnO): Часто применяется как HBM благодаря своим хорошим электронным свойствам и прозрачности.

Оксид алюминия (Al₂O₃): Используется как EBM из-за своей высокой барьерной энергии для электронов и химической стабильности.

Трис(8-гидроксихинолин) алюминия (Alq₃): Органический EBM, широко используемый в OLED-дисплеях для повышения эффективности излучения.

4. Дополнительные факторы:

Помимо электро-оптических свойств, выбор материалов также учитывает их стабильность, устойчивость к окислению, способность к обработке и совместимость с другими слоями в устройстве.

Итак, выбор материалов для создания тонких плёнок органических активных материалов в технологическом цикле изготовления OLED тесно

связан с требуемыми электро-оптическими характеристиками устройства и обеспечением его высокой производительности и надёжности. Понимание и оптимизация этого выбора играют ключевую роль в разработке и производстве современных OLED-технологий.

Обоснование выбора органического материала для изготовления тонкопленочного диэлектрика

Диэлектрики в органических светодиодах используются в качестве материала подложки, в качестве изолирующих слоев, и в качестве защитного покрытия.

Рассмотрим использование тонкопленочных диэлектриков в качестве изолирующих слоев. Они, как правило, представляют собой тонкие плёнки из *low-k* полимеров. Они создают барьер между различными слоями OLED-структуры, предотвращая утечку тока, короткие замыкания и уменьшая RC-задержку.

Далее приведены конкретные материалы и примеры их использования в OLED структурах.

1. Изоляция катода:

В OLED-структуре катод, генерирующий электроны, обычно находится в непосредственной близости от органического эмиттерного слоя. Изолирующий слой между ними предотвращает образование коротких замыканий и обеспечивает правильную работу устройства. Например, в патенте US9172537 (Samsung Electronics Co., Ltd) описана структура OLED-дисплея, где катод отделен от эмиттерного слоя слоем из поливинилфенольного (PVP) материала.

2. Изоляция анода:

Аналогично, анод, который инжектирует дырки в эмиттерный слой, также нуждается в изоляции. В патенте US9451589 (LG Display Co., Ltd) описан OLED-дисплей, где анод отделён от эмиттерного слоя тонким слоем из поливинилового спирта (PVA) для предотвращения утечки тока и улучшения стабильности устройства.

3. Изоляция между слоями:

В многослойных OLED-структурах изоляционные слои также используются между различными слоями, чтобы предотвратить нежелательные взаимодействия между ними. Например, в патенте US11243645B2 (Samsung Display Co., Ltd) используется полимерный материал на основе полиимида для изоляции электродов эмиттера.

Методы нанесения диэлектрических полимерных пленок

Литье из раствора (spin coating): полимер растворяется в подходящем растворителе, а затем равномерно распределяется на подложку с помощью вращения. После испарения растворителя остаётся тонкая пленка полимера. Это простой и недорогой метод, позволяющий создавать большие площади покрытия. Однако, в этом методе сложно контролировать толщину пленки и однородность покрытия, особенно для тонких слоёв. Пленки, изготовленные таким способом, часто используются для нанесения защитных слоёв или слоёв с относительно высокой толщиной (более 100 нм).

Напыление: мишень из полимерного материала помещается в вакуумную камеру и бомбардируется ионами, в результате чего материал испаряется и осаждается на подложку, образуя пленку. Такой метод позволяет создавать однородные пленки, также есть возможность достаточно точно контролировать толщину покрытия. Метод подходит для нанесения сложных многослойных структур. К недостаткам можно отнести то, что метод требует дорогостоящего и сложного оборудования, а также создания высокого вакуума. Метод используется для создания тонких диэлектрических слоев (менее 100 нм).

Плазменная полимеризация: органический мономер подаётся в плазменную камеру, где он подвергается воздействию плазмы, что приводит к образованию полимерной пленки на поверхности подложки. Данный метод позволяет создавать тонкие пленки с высокой адгезией к поверхности, может использоваться для нанесения тонких и сложных функциональных слоев. Для этого метода требуется сложное оборудование, требующее высокий вакуум.

Печатный метод: включают в себя различные методы печати, такие как офсетная, флексографическая, струйная печать и др. Печатные методы позволяют создавать большие площади покрытия с высокой точностью и скоростью, эти методы сравнительно недорогие и не требующие сложного оборудования. Основной проблемой этого метода является то, что при удалении растворителя с поверхности пленки может нарушиться созданный с помощью печати рисунок. Такой метод широко используется при создании диэлектрических слоев OLED-структур.

Литье из раствора является наименее трудо-ресурсозатратным методом нанесения полимерных диэлектрических слоев в OLED-структурах, особенно для больших объемов производства. Выбор метода нанесения полимерных диэлектрических слоев зависит от конкретных требований к создаваемой структуре. Так, например, для создания прозрачной диэлектрической подложки можно использовать метод литья из раствора (spin coating). Изолирующие тонкие слои могут быть нанесены с помощью печатного метода. Защитное покрытие может быть изготовлено тем же методом литья из раствора.

Обоснование выбора материала для изготовления прозрачных пленочных электрических контактов с омическими характеристиками

Изготовление прозрачных пленочных контактов (катод и анод) с омическими характеристиками для OLED-экранов предъявляет ряд требований, связанных с их функциональностью и эффективностью. Вот основные требования к таким контактам:

1. **Прозрачность:** Контакты должны быть высоко прозрачными для эффективного прохождения света через них. Это особенно важно для OLED-экранов, где каждый пиксель должен иметь хорошую передачу света.
2. **Омические свойства:** Контакты должны иметь низкое сопротивление (низкую электрическую сопротивляемость) для обеспечения эффективной передачи электрического тока от электрода к органическому слою OLED. Это обеспечивает эффективную работу каждого пикселя. Здесь мы будем оценивать материалы с точки зрения их удельной проводимости.
3. **Устойчивость к окислению и коррозии:** Материалы, используемые для контактов, должны быть устойчивыми к окислению и коррозии, так как OLED-экраны могут эксплуатироваться в условиях, где могут быть изменения влажности и температуры. Кроме того, как известно, многие материалы быстро окисляются при взаимодействии с кислородом, что требует при их использовании нанесения дополнительных защитных слоёв.
4. **Устойчивость к физическим повреждениям:** Контакты должны быть достаточно прочными, чтобы выдерживать механические воздействия в процессе производства и эксплуатации OLED-экранов, также должна присутствовать некоторая гибкость.
5. **Плоскость и равномерность:** Пленочные контакты должны иметь плоскую поверхность с равномерной толщиной, чтобы обеспечить

равномерное распределение электрического тока и минимизировать возможные неоднородности в работе OLED-экрана.

6. **Совместимость с другими слоями:** Материалы контактов должны быть совместимы с другими материалами, используемыми в структуре OLED, чтобы предотвратить реакции или деградацию в процессе производства и в эксплуатационных условиях.
7. **Технологическая совместимость:** Процесс изготовления контактов должен быть совместим с производственной линией OLED-экранов, что включает аспекты, такие как температурные условия, методы нанесения (в нашем случае аддитивные) и высокая скорость производства.

Для изготовления прозрачных пленочных электрических контактов с омическими характеристиками в OLED, обычно используют следующие материалы:

1. **Индиевое олово (ITO):** это наиболее распространенный материал для создания прозрачных электродов в OLED. ITO обладает хорошей проводимостью и прозрачностью в видимом спектре света, что делает его идеальным для применения в дисплеях.
2. **Фольгированное серебро (Ag):** используется в некоторых случаях как альтернатива ITO. Серебро обладает высокой электрической проводимостью и может быть использовано в виде тонких пленок для создания электродов.
3. **Транспортные слои органических полупроводников:** для соединения между слоями OLED часто используют органические материалы, которые обеспечивают необходимую омическую связь между электродами и слоями эмиттеров.
4. **Алюминий (Al) или кальций (Ca):** используются для создания электродов с низким потенциалом работы, необходимых для электронных и дырочных впрыскивающих слоев в OLED.

5. **Транспарентные проводники на основе полимеров:** например, поли(3,4-этилендиокситиофен)/полистиролсульфонат (PEDOT) может быть использован в качестве альтернативы ITO благодаря своей высокой прозрачности и относительно низкой стоимости.
6. **Графен:** как однослойный двумерный материал, представляет собой плоскую структуру углерода, которая обладает уникальными свойствами, делающими его прекрасным материалом для прозрачных электродов.
7. **Углеродные нанотрубки:** представляют собой цилиндрические структуры, и также имеют отличные электропроводные свойства.

Давайте рассмотрим перечисленные материалы с точки зрения требований к прозрачным пленочным контактам с омическими характеристиками для OLED-экранов, воспользуемся приведенными ранее требованиями, в конце каждого материала обобщим основные минусы.

Индиевое олово (ITO):

ITO имеет очень хорошие электрические проводимость ($10^3 - 10^4$ См/см) и оптическую прозрачность в видимом спектре света, что делает его идеальным материалом для применения в OLED. Это свойство особенно важно, так как электроды OLED должны быть прозрачными, чтобы свет с эмитирующих слоев мог без помех проходить через них.

- **Прозрачность:** ITO обладает высокой прозрачностью в видимом спектре света, что делает его идеальным для применения в OLED-экранах.
- **Омические свойства:** ITO имеет низкое сопротивление, что позволяет эффективно передавать электрический ток.

- **Устойчивость к окислению и коррозии:** ITO устойчив к окислению, но может требовать защитных слоев в некоторых условиях эксплуатации.
- **Устойчивость к физическим повреждениям:** достаточно прочен для большинства применений в OLED-технологиях.
- **Плоскость и равномерность:** хорошо контролируемая толщина и плоскость.

Минусы и сложности:

- Высокая стоимость и относительная редкость индия как основного компонента.
- Хрупкость и чувствительность к механическим повреждениям.
- Ограниченная гибкость, что может быть проблемой для гибких OLED устройств.

Фольгированное серебро (Ag):

Серебро обладает очень высокой электрической проводимостью ($\sim 6 \times 10^5$ См/см), что позволяет создавать эффективные электрические контакты с низким сопротивлением. Используется в случаях, когда требуется высокая проводимость и когда важна стоимость или процесс изготовления.

- **Прозрачность:** в зависимости от толщины и способа нанесения, серебряные пленки могут быть менее прозрачными, чем ITO.
- **Омические свойства:** у серебра очень низкое сопротивление, что обеспечивает отличную проводимость.
- **Устойчивость к окислению и коррозии:** менее стабильно в агрессивных окружающих условиях по сравнению с ITO.

- **Устойчивость к физическим повреждениям:** мягкий материал, требующий защиты от механических повреждений.
- **Плоскость и равномерность:** может быть сложно контролировать толщину и равномерность.

Минусы и сложности:

- Меньшая прозрачность по сравнению с ИТО.
- Трудности с равномерным нанесением тонких пленок, что может влиять на качество и однородность контактов.
- Возможные проблемы с адгезией к подложкам или другим слоям в OLED структуре.

Транспортные слои органических полупроводников:

Эти материалы обеспечивают хорошую омическую связь между различными слоями OLED, что позволяет эффективно вводить и выводить электрический ток в OLED устройствах. Они также хорошо совместимы с другими органическими материалами, используемыми в OLED, такими как эмитирующие и транспортные слои. Примером таких материалов могут служить TPBi (трифенил-бензимидазол), TCTA (три(карбазоль-9-ил) трифениламин), BPhen (4,7-дифенил-1,10-фенилантролин) и BCP (батиодиниодфенилен).

- **Прозрачность:** органические материалы могут обеспечивать высокую прозрачность, особенно тонкие слои.
- **Омические свойства:** зависят от конкретного органического материала, но могут иметь хорошие омические характеристики.
- **Устойчивость к окислению и коррозии:** органические материалы могут быть чувствительны к воздействию влаги и кислорода.

- **Устойчивость к физическим повреждениям:** хрупкие в сравнении с металлами, требуют защиты в процессе обработки.
- **Плоскость и равномерность:** равномерность и стабильность зависят от метода нанесения.

Минусы и сложности:

- Трудности с точностью контроля толщины слоев, что может привести к вариациям в электрических свойствах.
- Некоторые материалы могут быть чувствительны к влаге или кислороду, требуя особых условий производства и защиты.

Алюминий (Al) и кальций (Ca):

Эти металлы имеют низкий потенциал работы, что позволяет им эффективно вводить или выводить электроны или дырки в электронные и дырочные впрыскивающие слои OLED. Алюминий и кальций могут быть нанесены в виде тонких пленок, что важно для минимизации влияния на оптические свойства OLED. Удельная проводимость алюминия порядка $3,5 \times 10^5$ См/см, а кальция -- 3×10^5 См/см.

- **Прозрачность:** алюминий и кальций не являются прозрачными в видимом спектре света, что ограничивает их применение в OLED-экранах.
- **Омические свойства:** алюминий имеет низкое сопротивление.
- **Устойчивость к окислению и коррозии:** алюминий и кальций подвержены окислению в атмосферных условиях.
- **Устойчивость к физическим повреждениям:** могут быть достаточно прочными, но требуют защиты.

- **Плоскость и равномерность:** контроль толщины и равномерности важен для обеспечения равномерного контакта.

Минусы и сложности:

- Алюминий и кальций могут образовывать оксидные пленки, что может ухудшить их электрические свойства.
- Проблемы с адгезией или стабильностью в условиях высокой влажности или окислительной среды.
- Могут требоваться дополнительные меры по защите от окисления или деградации.

Полимерные прозрачные проводники (например, PEDOT):

PEDOT обеспечивает хорошую прозрачность в видимом спектре, а также гибкость, что может быть полезно для приложений, где требуется гибкий OLED дисплей. Этот материал легко обрабатывается и может быть нанесен на большие поверхности с использованием простых технологий печати. Электрическая проводимость прозрачных проводников на основе полимеров может варьироваться от 10^{-2} до 10^2 См/см.

- **Прозрачность:** полимерные материалы могут обеспечивать хорошую прозрачность, особенно при оптимизации состава.
- **Омические свойства:** зависят от типа полимера и добавленных проводящих добавок; могут быть менее эффективными по сравнению с ИТО.
- **Устойчивость к окислению и коррозии:** полимеры могут быть менее стойкими к воздействию окислительных сред.
- **Устойчивость к физическим повреждениям:** могут быть менее прочными и требовать защиты.

- **Плоскость и равномерность:** контроль толщины и равномерности слоя важен для эффективной работы.

Минусы и сложности:

- Может быть необходима предварительная обработка подложек для обеспечения хорошей адгезии.
- Устойчивость к долговременной стабильности и долговечности может быть проблемой в некоторых приложениях.
- Влияние на структурные и оптические свойства OLED дисплея из-за введения дополнительного слоя.

Графен и углеродные нанотрубки:

Графен и углеродные нанотрубки являются современными и перспективными материалами для использования в различных областях науки и техники, включая электронику и оптоэлектронику.

Графен и углеродные нанотрубки обладают высокой *электрической проводимостью*, что позволяет создавать электрические контакты с низким сопротивлением. Это способствует эффективной передаче электрического сигнала и минимизации потерь энергии. Графен и углеродные нанотрубки обладают высокой степенью *прозрачности* в широком спектре длин волн света, включая видимый диапазон. Это позволяет создавать прозрачные электроды, которые не влияют на видимость изображения на дисплее. Они также обладают *гибкостью*, что делает их идеальными для использования в гибких электронных устройствах, включая гибкие OLED-дисплеи. Это позволяет создавать устройства с улучшенной механической прочностью и возможностью изгиба, и высокой химической стабильностью, что позволяет им сохранять свои свойства при воздействии окружающей среды. Это важно для долговечности и надежности электрических контактов в OLED.

- **Прозрачность:** обладают высокой прозрачностью в видимом спектре света.
- **Омические свойства:** графен и углеродные нанотрубки могут иметь очень низкое сопротивление, обеспечивая отличную проводимость.
- **Устойчивость к окислению и коррозии:** графен устойчив к окислению, углеродные нанотрубки могут требовать защиты.
- **Устойчивость к физическим повреждениям:** графен и нанотрубки могут быть очень прочными, но требуют аккуратного обращения.
- **Плоскость и равномерность:** требуют точного контроля толщины и равномерности в процессе нанесения.

Минусы и сложности:

- В настоящее время производство графена и углеродных нанотрубок является дорогостоящим процессом, что может снижать их конкурентоспособность на рынке и повышать общую стоимость производства устройств на их основе.
- Несмотря на то, что существуют методы производства графена и углеродных нанотрубок в лабораторных условиях, достижение высокой масштабируемости и промышленного производства этих материалов остается сложной задачей.
- Графен и углеродные нанотрубки могут быть чувствительны к механическим повреждениям и стиранию, что может привести к уменьшению их эффективности в качестве электрических контактов в OLED.
- Иногда возникают трудности с интеграцией графена и углеродных нанотрубок с другими материалами, что может потребовать дополнительных технологических усилий и ресурсов для достижения оптимальной работоспособности устройств.

Для удобства сравнения все материалы помещены в таблицу 1.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки материалов

Материал	Плюсы	Минусы
Индиевое олово (ITO)	Хорошая электрическая проводимость, прозрачность	Высокая стоимость, хрупкость, ограниченная гибкость
Фольгированное серебро (Ag)	Высокая электрическая проводимость	Меньшая прозрачность, трудности с равномерным нанесением, проблемы с адгезией к подложке
Транспортные слои органических полупроводников	Хорошая омическая связь между различными слоями OLED, совместимость с другими органическими материалами	Трудности с точностью контроля толщины слоев, чувствительность к влаге или кислороду
Алюминий (Al) или кальций (Ca)	Возможно создание тонких пленок, низкий потенциал работы	Окисление, проблемы с адгезией и стабильностью
Транспарентные проводники на основе полимеров	Прозрачность, гибкость, легкая обработка, простые технологии печати для нанесения	Проблема со стабильностью и долговечностью, влияние на структурные и оптические свойства
Графен и углеродные нанотрубки	Электрическая проводимость, прозрачность, гибкость, химическая стабильность	Стоимость производства, трудности в масштабировании производства, проблемы с прочностью и долговечностью, трудности в интеграции с другими материалами

Способы нанесения

Контакты катода и анода в OLED являются ключевыми компонентами, определяющими эффективность и качество работы устройства. Использование соответствующих материалов с правильными характеристиками необходимо для обеспечения правильной работы каждого элемента OLED.

Прозрачные пленочные электрические контакты используются для анодов и катодов в OLED дисплеях, так как они позволяют свету проходить через них без значительной потери интенсивности и обеспечивают эффективное взаимодействие с органическими полупроводниками. Кроме того, контакты должны иметь омические характеристики, чтобы обеспечить низкое сопротивление и эффективный электрический контакт с органическими слоями.

Для **катода** OLED часто используются материалы с низкой работой выхода, такие как алюминий, кальций, барий и литий, поскольку они способны обеспечить электронное впрыскивание на катодный слой органического полупроводника. Алюминий – это один из самых часто применяемых материалов для катодов из-за своей высокой эффективности при различных длинах волн света и низком уровне загрязнения. Кроме того, он обладает хорошей адгезией и прост в обработке.

Для **анода** часто используют материалы с высокой работой выхода, например, оксид индия-олово (ITO) – прозрачный электрод, который обеспечивает хорошие омические характеристики и высокую прозрачность для света, проходящего через него. ITO также обладает хорошей стабильностью химических и электрических свойств.

У катода OLED требуется материал с низкой работой выхода, так как низкая работа выхода позволяет электронам проще покидать катод и внедряться в органический слой полупроводника. Этот процесс обеспечивает эффективное электронное впрыскивание и дальнейшую генерацию света в OLED. Материалы с низкой работой выхода, такие как алюминий, кальций или барий, хорошо подходят для катода из-за их способности облегчать этот процесс.

С другой стороны, у анода OLED должна быть высокая работа выхода, чтобы обеспечить легкий выход электронов, которые проносятся через органический слой и покидают устройство через анод. Высокая работа выхода

материала анода способствует тому, что электроны могут свободно двигаться от катода к аноду, создавая условия для эффективной работы устройства.

Обычно эти материалы наносятся на подложку, например, на стекло, с помощью методов испарения, распыления или вращения. Испарение и распыление позволяют создавать тонкие и однородные слои материалов, что важно для достижения хорошей электрической и оптической характеристики OLED. Вращение предлагает возможность создания равномерного покрытия на больших поверхностях.

Рассмотрим данные аспекты чуть более подробно:

1. Испарение:

Преимущества: Испарение - это процесс, при котором металлический материал нагревается до высокой температуры, превращается в пар и конденсируется на поверхности подложки в виде пленки. Преимущества этого метода включают высокую точность и равномерность нанесения пленки, возможность создания тонких пленок металлов, таких как алюминий, и отсутствие необходимости в использовании реактивных газов.

Недостатки: Одним из недостатков процесса испарения является то, что он может привести к неравномерному распределению пленки на больших поверхностях из-за тенденции к конденсации в неравномерных местах. Кроме того, этот метод может быть затратным из-за необходимости высоких температур и использования вакуума.

Процесс:

Процесс испарения начинается с нагревания металлического материала до высокой температуры внутри испарителя, который обычно находится в вакуумной камере. Под действием высокой температуры металл испаряется и образует пар. Пар металла направляется к поверхности подложки, где конденсируется и образует металлическую пленку. Важно контролировать

процесс нагревания и испарения для достижения равномерного нанесения пленки на поверхность.

Затраты: Затраты на процесс испарения включают в себя затраты на оборудование (испаритель, вакуумная камера), энергию для нагрева металла и подложки, а также расходные материалы.

2. Распыление:

Преимущества: Распыление - это метод нанесения пленки, при котором металл испаряется или ионизируется и наносится на поверхность подложки путем выброса. Для нанесения прозрачных пленочных электродов, таких как ИТО, распыление является эффективным методом. Преимущества включают возможность создания тонких и прозрачных пленок, хорошую адгезию к подложке и возможность работы при атмосферном давлении.

Недостатки: Недостатки распыления могут включать менее равномерное нанесение пленки по сравнению с другими методами, возможные проблемы с адгезией и механическое напряжение в пленке. Кроме того, для нанесения достаточно больших площадей может потребоваться большое количество времени.

Процесс:

В процессе распыления металлический материал подвергается различным методам, например, магнетронному или ионному распылению. Под действием энергии материал ионизируется или испаряется, образуя металлическую пару или ионы. Эти ионы или пара направляются к поверхности подложки, где осаждаются и образуют тонкую пленку. Процесс распыления может происходить как при вакууме, так и при атмосферном давлении, в зависимости от требований процесса.

Затраты: Затраты на процесс распыления включают в себя затраты на оборудование (распылитель, источник материала), ресурсы (газы, энергию) и расходные материалы (материалы для распыления, подложку).

3. Вращение:

Преимущества: Вращение используется для создания равномерного покрытия на больших поверхностях. Этот метод позволяет обеспечить однородность толщины пленки на широких площадях, что является критически важным для производства больших OLED дисплеев.

Недостатки: Одним из потенциальных недостатков вращения может быть возможность неравномерного распределения материала на краях или углах поверхности из-за особенностей самого процесса. Также вращение может потребовать определенного времени для нанесения пленки на всю поверхность.

Процесс:

Метод вращения часто используется для нанесения пленок на поверхность подложки с помощью опрыскивания. Подложка устанавливается на вращающуюся платформу или карусель, что обеспечивает равномерное распределение материала на поверхности. Материал для нанесения (например, раствор) наносится на поверхность подложки во время вращения, что способствует равномерному покрытию без образования различных дефектов. Этот метод гарантирует хорошее покрытие на больших поверхностях, а также позволяет регулировать скорость и направление вращения для оптимального результата.

Затраты: Затраты на процесс вращения включают в себя затраты на оборудование (вращающаяся платформа, система управления), время и энергию для обеспечения вращения и нанесения материала на поверхность.

Нанесение анода, как правило, выполняется методами, такими как вакуумное напыление или химическое осаждение, чтобы создать тонкий слой проводящего материала на поверхности подложки. Прозрачность и однородность анода важны для эффективного проникновения света через него, что является ключевым для работы OLED-дисплеев.

Нанесение катода часто осуществляется методами, требующими вакуума, такими как термическое распыление, чтобы обеспечить хорошее соединение с органическим слоем и эффективный электронный перенос.

Полиимиды в качестве тонкопленочных диэлектриков для OLED-структур

Полиимиды находят широкое применение в микроэлектронных устройствах, где необходимы материалы со сверхнизким значением диэлектрической проницаемости. В [1] сообщается о значении диэлектрической проницаемости в диапазоне от 2.78 до 3.48 (таблица 3) для полиимидов с различными радикалами (рисунок 3). Исходя из этого, мы можем видеть стабильное поведение значения диэлектрической проницаемости при различных частотах.

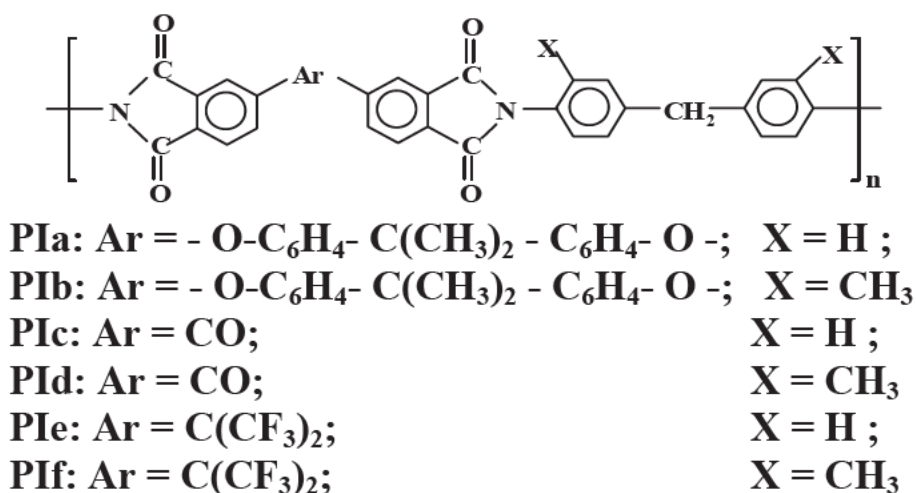


Рисунок 3 – Структурная формула семейства полиимидов

Таблица 3 – Диэлектрическая постоянная и диэлектрические потери для полиимидов

Polymer	Dielectric constant, ϵ'		Dielectric loss, $\epsilon'' \times 10^{-2}$	
	1 Hz	10^4 Hz	1 Hz	10^4 Hz
PIa	3.25	3.16	2.09	1.03
PIb	3.08	2.99	2.93	1.23
PIc	3.48	3.40	2.58	1.33
PId	3.32	3.22	2.56	2.24
PIe	2.89	2.84	2.02	0.943
PIf	2.78	2.73	1.36	0.763

Также полиимиды обладают хорошей температурной стабильностью в диапазоне температур от -100 до 200°C (рисунок 4).

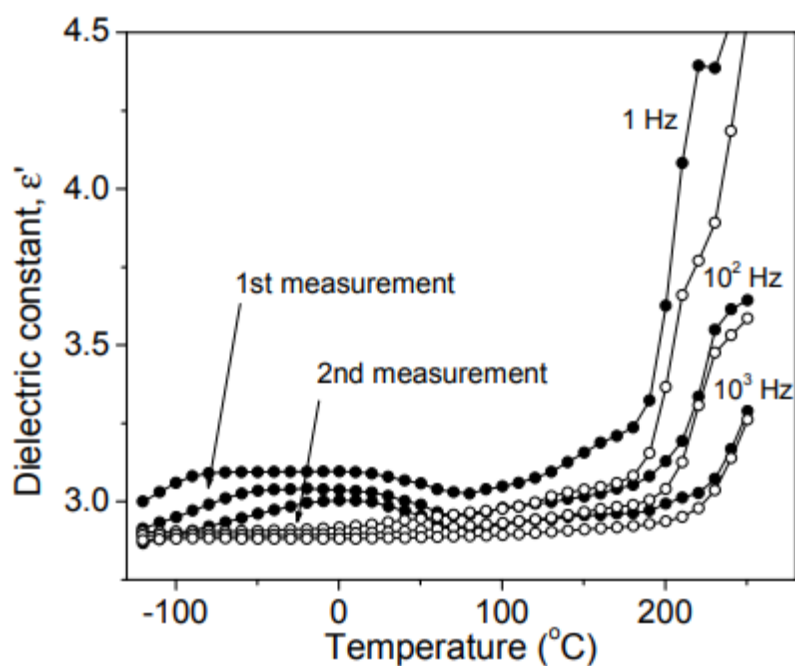


Рисунок 4 – Зависимость диэлектрической постоянной от температуры

Также полиимиды обладают необходимыми оптическими свойствами. Эти полимеры имеют высокое значение пропускания (более 80%) во всем видимом диапазоне и ИК, что важно при изготовлении светоизлучающих диодов (рисунок 5).

И что важно, данный материал поглощает УФ-излучение, так как он может оказывать негативное влияние на OLED-структуру, снижая срок службы готового устройства. Это связано с тем, что УФ-излучение может вызывать фотоокисление органических материалов в OLED-структуре, особенно в эмиттерном слое. То есть, когда молекулы кислорода взаимодействуют с органическими материалами под воздействием УФ-излучения, образуются различные радикалы, разрываются химические связи, что приводит к деградации молекул. В результате снижается яркость, изменяется цвет излучения и ухудшается эффективность OLED.

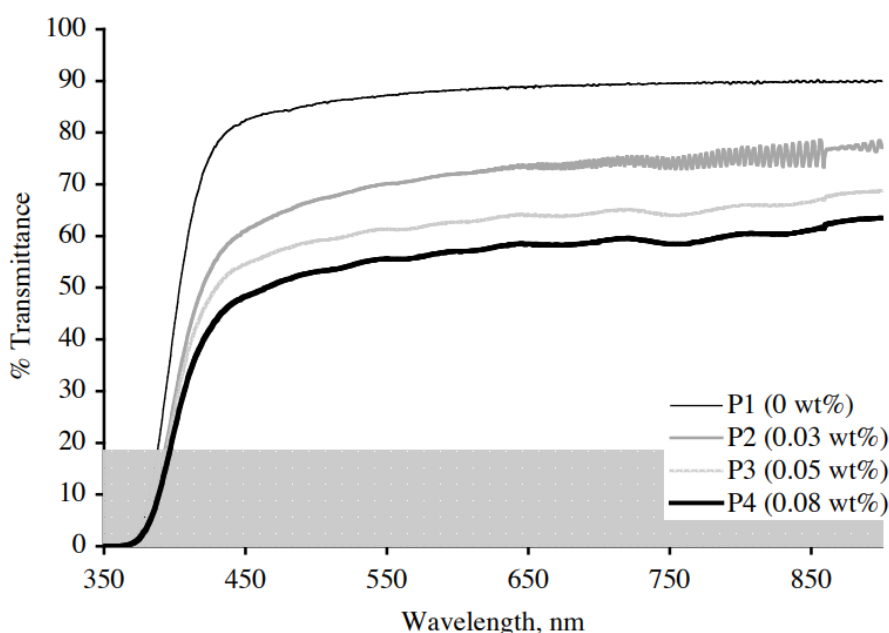


Рисунок 5 – Зависимость пропускания полиимида с различным содержанием УНТ от длины волны

Также преимуществом ПИ несомненно является тот факт, что его используют в качестве подложки для OLED-дисплеев из-за его гибкости. По прогнозам спроса данная технология будет набирать высокие обороты с 2024 года по 2031 год [3]. Уже сейчас ПИ используют в одних из самых высокопроизводительных и качественных гибких дисплеях, основанных на AMOLED.

Обоснование выбора материала для изготовления прозрачных пленочных электрических контактов с омическими характеристиками

1. Индиевое олово (ИТО):

Способ нанесения: Аддитивные методы включают нанесение методом печати или распыления.

Достоинства: Высокая прозрачность, хорошая электропроводность, химическая устойчивость.

Недостатки: Дорогостоящий материал, подверженность окислению и механическим повреждениям.

Примерная стоимость и сложность: Стоимость может быть высокой из-за индия, применяется технология фотолитографии, что требует специализированного оборудования.

2. Фольгированное серебро:

Способ нанесения: Обычно наносится методом печати или нанесения пленок.

Достоинства: Хорошая электропроводность, низкая сопротивляемость, химическая инертность.

Недостатки: Может быть менее прозрачным в сравнении с ИТО, меньшая стабильность со временем.

Примерная стоимость и сложность: Дешевле, чем ИТО, требует применения специальных печатных технологий, которые могут потребовать оптимизации.

3. Транспортные слои органических полупроводников:

Способ нанесения: Такие слои обычно наносят методом испарения или плазменного нанесения.

Достоинства: Гибкость, возможность создания тонких пленок с высокой электропроводностью.

Недостатки: Более высокая стоимость, чувствительность к воздействию окружающей среды.

Примерная стоимость и сложность: Требуется специализированных установок для испарения или плазменного наращивания слоев.

4. Алюминий, кальций и прозрачные проводники на основе полимеров:

Способ нанесения: Для алюминия и кальция может применяться метод магнетронного напыления, а для полимерных материалов - методы печати или нанесения пленок.

Достоинства: Разнообразие выбора материалов под различные требования, более низкая стоимость.

Недостатки: Прозрачность может быть снижена в сравнении с ИТО, меньшая электропроводность или стабильность.

Примерная стоимость и сложность: Варьируется в зависимости от выбранного материала и метода нанесения, обычно менее дорого и проще в реализации по сравнению с более традиционными материалами.

5. Графен:

Способ нанесения: Графен может быть нанесен методом химического осаждения или плавления.

Достоинства: Очень высокая электропроводность, отличная прозрачность, высокая механическая прочность.

Недостатки: Трудности в больших масштабах производства, высокая стоимость производства.

Примерная стоимость и сложность: Изготовление графена достаточно дорогое, и нанесение требует контроля температуры и других параметров.

6. Углеродные нанотрубки:

Способ нанесения: Нанотрубки могут быть нанесены методом химического осаждения или вакуумного напыления.

Достоинства: Хорошая электропроводность, высокая прозрачность, механическая прочность.

Недостатки: Сложности с контролем качества и однородности, некоторые проблемы с диспергированием.

Примерная стоимость и сложность: Процесс получения нанотрубок может быть сложным и требует специализированного оборудования

Использование аддитивных методов позволяет экономить ресурсы и упрощает процесс нанесения контактов, однако требует определенной экспертизы и контроля качества процесса. Каждый материал имеет свои уникальные характеристики, достоинства и недостатки, и выбор определенного метода и материала зависит от конкретных требований и бюджета проекта.

Для удобства сравнения все сведения помещены в таблицу 2.

Таблица 2 – Сравнение материалов

Материал	Способ нанесения	Преимущества	Недостатки	Примерная стоимость и сложность
Индиевое олово (ИТО)	метод печати или распыления	Высокая прозрачность, хорошая электропроводность, химическая устойчивость	Дорогостоящий материал, подверженность окислению и	Стоимость может быть высокой из-за индия

			механическим повреждениям	
Фольгированное серебро	метод печати или нанесения пленок	Хорошая электропроводность, низкая сопротивляемость, химическая инертность	Может быть менее прозрачным в сравнении с ИТО, меньшая стабильность со временем	Дешевле, чем ИТО, требует применения специальных печатных технологий
Транспортные слои органических полупроводников	метод испарения или плазменного нанесения	Гибкость, возможность создания тонких пленок с высокой электропроводностью	Более высокая стоимость, чувствительность к воздействию окружающей среды	Требуется специализированных установок для испарения
Алюминий, кальций и транспарентные проводники на основе полимеров	метод магнетронного напыления, для полимерных материалов - методы	Разнообразие выбора материалов под различные требования	Прозрачность может быть снижена в сравнении с ИТО, меньшая электропровод	Обычно менее дорого и проще в реализации по сравнению с более традиционными

	печати или нанесения пленок		одность или стабильност ь	ми материалами
Графен	метод химического осаждения	Высокая электропровод ность, отличная прозрачность, высокая механическая прочность	Трудности в больших масштабах производств а, высокая стоимость производств а	Изготовление графена достаточно дорогое, и нанесение требует контроля температуры и других параметров
Углеродные нанотрубки	метод химического осаждения или вакуумного напыления	Хорошая электропровод ность, высокая прозрачность, механическая прочность	Сложности с контролем качества и однороднос ти, некоторые проблемы с диспергиро ванием	Процесс получения сложный и требует специализиро ванного оборудования

Анод: это прозрачный электрод для создания отверстий в органических слоях. Важным требованием к этому слою является то, что он должен иметь низкую шероховатость и высокую работу выхода [1].

Катод: Катод обычно представляет собой металлический сплав с низкой работой выхода ($\phi_w \approx 2,9\text{--}4,0$ эВ). Катод инжектирует электроны в

эмитирующие слои. В устройствах с верхним излучением он прозрачен. Он должен быть устойчив к находящимся под ним органическим слоям.

На рисунке 6 представлены структуры различных OLED. На рисунке 7 приведены материалы, обычно используемые в OLED.

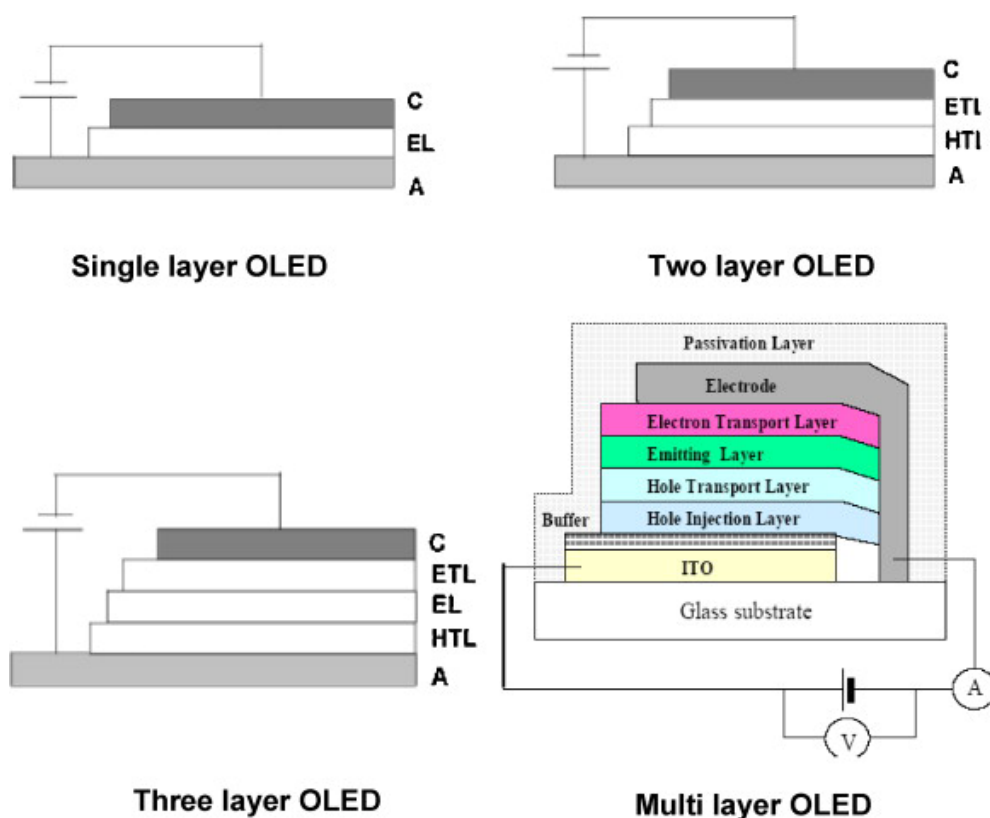


Рисунок 6 – Структура различных OLED. Где С - катод (обычно алюминий); EL - излучающий слой; ETL - уровень электронного транспорта; HTL - транспортный уровень дырок; HIL - слой инжекции отверстий; А - анодные малые молекулы

Layer of OLED's	Materials generally used in different layers of OLED's
Anode	High work function; ITO, IZO, ZNO; TCP (PANI, PEDOT); Au, Pt, Ni, p-Si; ITO; Surface treatment; Plasma (O ₂ , NH ₃); Solution (Aquaregia); Thin insulator AlO _x , SiO _x ; RuO _x (4.9 eV); MoO _x (5.4 eV)
Cathode	Low work function; Mg:Ag; Li:Al; Ca. . . ; thin insulator; LiF; MgO _x .
HIL	HOMO level; Spiro-TAD; CuPc; m-MTDATA; PTCDA; 2TNATA; TPD; NPD; DPVBi, . . . ; PPV; PVK; Dendrimer
ETL	LUMO level; Alq ₃ ; Bebq ₂ ; PBD; OXD; TAZ; BCP
EML: Dopant	Alq ₃ ; CPB; Balq; DPVBi; Rubrene; Spiro DPVBi; Quinacridone; Coumarin; DSA; Ir(ppy) ₃ ; Pt(OEP); emitting assistant; rare earth complexes

Рисунок 7 – Материалы, обычно используемые в OLED

Инжекционный слой

Инжекционный слой в OLED играет важную роль в процессе электролюминесценции, когда органический материал излучает свет при подаче электрического тока. Инжекционные слои необходимы для обеспечения эффективной инжекции и транспорта зарядов к активным слоям OLED-элемента, где происходит излучение. Данный слой обеспечивает две ключевые функции:

1. Инжекция зарядов: помогает электронам и дыркам входить в активный слой OLED, где они рекомбинируются и вызывают излучение света.
2. Блокировка носителей: предотвращает перенос свободных носителей заряда в сторону соседнего слоя, что может снизить эффективность и стабильность работы OLED-элемента.

Обычно в качестве материалов для инжекционного слоя в OLED используются следующие соединения:

1. Литийфторид (LiF): обеспечивает эффективную инжекцию электронов из катода в активный слой OLED. LiF также способствует формированию выровненных энергетических уровней.
2. Молибдентриоксид (MoO₃): используется в качестве инжекционного слоя для дырок. Он помогает эффективно инжектировать дырки из анода в активный слой OLED. MoO₃ также обладает стабильностью и прозрачностью.
3. Медное фталоцианиновое соединение (CuP). Этот материал является полупроводником и может быть использован для инжекции и улучшения отвода электронов в OLED-элементе. CuP также обладает высокой проводимостью, стабильностью и хорошей растворимостью в органических растворителях, что делает его привлекательным для применения в OLED-технологиях. Преимущества использования CuP в качестве инжекционного слоя в OLED включают:
 - Эффективная инжекция электронов: CuP может обеспечить эффективное введение электронов в активный слой OLED из электродов.
 - Хорошая проводимость: высокая проводимость CuP способствует проникновению зарядов и обеспечивает эффективную работу OLED-элементов.
 - Стабильность и долговечность: CuP обладает хорошей химической стабильностью и способностью сохранять свои свойства при работе в условиях OLED.

Однако, использование CuP в качестве инжекционного слоя также может иметь недостатки или ограничения, такие как сложность процесса нанесения, потенциальное взаимодействие со смежными слоями OLED и требование специализированных условий для производства.

Выбор материалов для инжекционного слоя основан на их электронных свойствах, стабильности, совместимости с другими слоями OLED-элемента и

эффективности в инъекции зарядов. Правильный дизайн и оптимизация инжекционного слоя важны для обеспечения высокой яркости, эффективности и долговечности OLED-дисплеев в различных устройствах.

Технологический маршрут

Схема технологического маршрута приведена на рисунке 5.

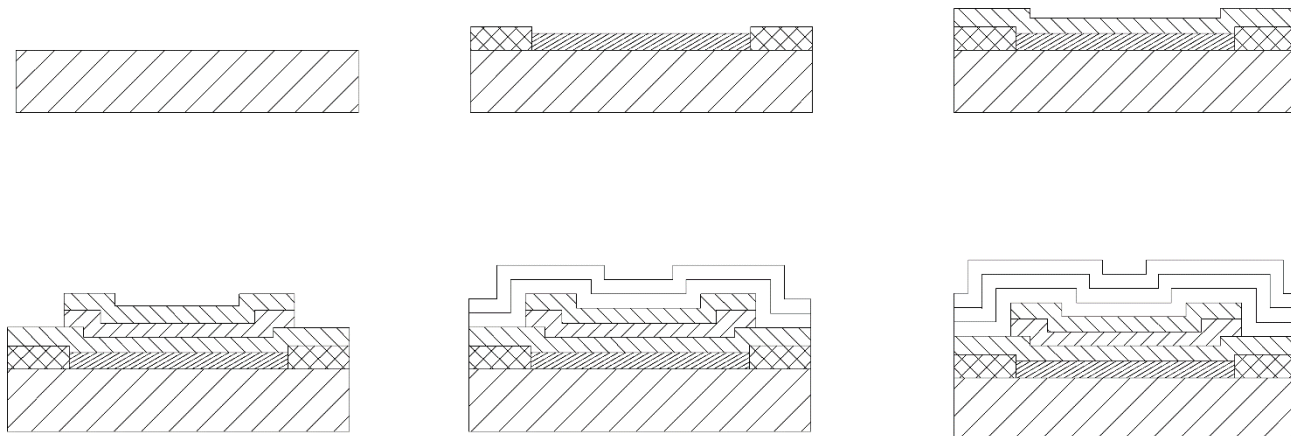


Рисунок 5 – Технологический маршрут

1. Подложка стеклянная, пластиковая. можно было бы сделать полиимидную спин-коатингом (чтобы дисплей был гибким), но не все далее используемые материалы обладают достаточной гибкостью.

2. Нанесение анода из оксида индия-олова (ITO) с помощью печатного метода, а затем нанесение слоя диэлектрика (полиимида) печатным методом для изоляции пикселей друг от друга

3. Нанесение слоя для транспорта дырок (с использованием вакуумного напыления, литья из раствора, технологии Ленгмюра-Блоджет (LB), струйной или лазерной печати). может быть использован PEDOT:PSS (полиэтилендиоксан).

4. Далее можно нанести вспомогательный слой (соединения на основе карбазола) для улучшений светоотдачи, а сверху на него уже эмиссионный слой из поли(п-фениленвинилена) (PPV) или поли(3,4-этилендиокситиофена) (PEDOT), который можно нанести печатным методом.

5. Нанесение слоя для транспорта электронов из поли(п-фениленвинилена) PPV, может быть нанесен методом вакуумного напыления.

6. Слой для инжекции электронов из фторида лития (LiF), например, нанесенный методом вакуумного осаждения. толщина этого слоя, как правило,

варьируется от 1А до 100А. далее катод из PEDOT, может быть нанесен методом струйной печати или магнетронным распылением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данного проекта был проведен обширный анализ исследований по выбору материалов для производства OLED с применением аддитивных технологий, а также был разработан технологический маршрут. Результатом этого исследования стал успешный выбор оптимальных материалов и разработка эффективного производственного процесса, который способствует улучшению качества и производительности OLED-экранов.

Одним из ключевых достижений проекта является выявление материалов, обладающих оптимальными электро-оптическими свойствами для создания высококачественных OLED-экранов. Этот выбор был основан на тщательном анализе характеристик материалов, их совместимости с аддитивными технологиями и потенциале для достижения высокой яркости, контрастности и долговечности экранов. Таким образом, опираясь на осуществленный обзор, для производства ОСИД были выбраны следующие материалы:

- Для создания тонких плёнок органических активных материалов – органический излучающий материал – **поли(п-фениленвинилен) (PPV), поли(3,4-этилендиокситиофен) (PEDOT)**
- Для изготовления тонкопленочного диэлектрика – **полиимид**
- Для изготовления прозрачных пленочных электрических контактов с омическими характеристиками – **индиевое олово/BPhen, TCTA, PEDOT**

В целом, завершение проекта по выбору материалов для производства OLED с применением аддитивных технологий и разработке технологического маршрута открывает перспективы для дальнейшего развития в области производства электронных устройств. Полученные результаты могут быть использованы в индустрии для создания передовых OLED-экранов, а также в дальнейших исследованиях по разработке новых материалов и технологий.