

УДК 628.9.038

## СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

Смыкал Е.И., Шепелев М.В., Яковенко А.Д.

Научный руководитель – старший преподаватель Новикова Л.И.

Пропуская электрический ток через “металл-карборунд”, Генри Раунд в 1907 году первым в мире обнаружил свечение твердотельного диода. Спустя 15 лет, в 1922 году, российский ученый Лосев Олег Владимирович так же стал свидетелем данного явления, экспериментируя с детектирующим контактом на основе пары “карборунд – стальная проволока”. Стремясь получить устойчивое свечение кристалла, он подавал на точечный контакт диодного детектора напряжение от гальванической батарейки и тем самым пропускал через него электрический ток. То есть имел дело с прототипом полупроводникового прибора, названным впоследствии светодиодом. Данный эффект был назван “эффектом Лосева”.

В 1951 году в США начались исследовательские работы по созданию “полупроводниковых лампочек”, принцип работы которых был основан на “эффекте Лосева”. В 1961 году Робертом Байардом и Гарри Питтманом была открыта и запатентована технология создания инфракрасного светодиода. В этом же году были запущены в производство индикаторные лампы с красным и жёлто-зеленым излучением. В последующие годы ученые активно работали над увеличением яркости и диапазона излучения полупроводниковых светодиодов.

Светодиод – это простейший вид полупроводникового прибора. Большинство полупроводников сделаны из плохого проводника, к которому были добавлены примеси (атомы другого материала). Процесс добавления примесей называется легированием. В случае светодиодов проводящим материалом обычно является алюминий-галлий-арсенид (AlGaAs). В чистом алюминиево-галлий-арсениде все атомы прекрасно связываются со своими соседями, не оставляя свободных электронов для проведения электрического тока. В легированном материале дополнительные атомы изменяют баланс, либо добавляя свободные электроны, либо создавая дырки, куда электроны могут идти.

Светодиод состоит из секции из материала N-типа, имеющую дополнительные отрицательно заряженные частицы (электроны), соединенной с секцией из материала P-типа, имеющую дополнительные положительно заряженные частицы (дырки), с электродами на каждом конце. Когда на диод не подается напряжение, электроны из материала N-типа заполняют отверстия из материала P-типа вдоль перехода между слоями, образуя зону обеднения. В зоне истощения полупроводниковый материал возвращается в свое первоначальное изолирующее состояние – все дырки заполнены, поэтому свободных электронов или пустых пространств для электронов нет, и электричество не может течь.

Чтобы избавиться от зоны истощения, электроны заставляют двигаться из области N-типа в область P-типа, а дырки - в обратном направлении. Для этого

соединяют сторону N-типа диода с отрицательным концом цепи, а сторону P-типа с положительным концом. Свободные электроны в материале N-типа отталкиваются отрицательным электродом и притягиваются к положительному электроду. Дырки в материале P-типа перемещаются в другую сторону. Когда разность напряжений между электродами достаточно высока, электроны в зоне истощения выталкиваются из своих дырок и снова начинают свободно двигаться. Зона истощения исчезает, и заряд перемещается по диоду. Если попытаться запустить ток в другую сторону, со стороны P-типа, подключенной к отрицательному концу цепи, и стороной N-типа, подключенной к положительному концу, ток не будет течь. Отрицательные электроны в материале N-типа притягиваются к положительному электроду. Положительно заряженные дырки в материале P-типа притягиваются к отрицательному электроду. Никакой ток не течет через переход, потому что дырки и электроны движутся в неправильном направлении. Зона истощения увеличивается.

Взаимодействие между электронами и дырками в светодиоде имеет побочный эффект – оно генерирует свет, состоящий из множества мелких частиц (фотонов). В атоме электроны движутся по орбиталиям вокруг ядра. Электроны на разных орбиталиях имеют разное количество энергии. Фотоны высвобождаются в результате движения электронов, которые, в свою очередь, попадают в пустые дырки из слоя P-типа и, соответственно, попадают из зоны проводимости на более низкую орбиталь. Это происходит в любом диоде, но видеть фотоны возможно только тогда, когда диод состоит из определенного материала. В обычном диоде полупроводниковый материал сам по себе поглощает большую часть световой энергии. Светодиоды специально сконструированы так, чтобы выпускать большое количество фотонов наружу. Кроме того, они размещены в пластиковой колбе, которая концентрирует свет в определенном направлении. Большая часть света от диода отражается от стенок лампы, проходя через закругленный конец. В зависимости от материалов, используемых в светодиодах, они могут быть построены так, чтобы светить в инфракрасном, ультрафиолетовом и всех цветах видимого спектра между ними. Видимые светодиоды (Vled), такие как те, которые освещают цифры в цифровых часах, изготовлены из материалов, характеризующихся более широким зазором между зоной проводимости и нижними орбиталиями. Размер промежутка определяет частоту фотона – другими словами, он определяет цвет света. В то время как светодиоды используются во всем, от пультов дистанционного управления до цифровых дисплеев на электронике, видимые светодиоды популярны благодаря их длительному сроку службы и миниатюрным размерам.

Светодиоды активно заменяют другие источники световой энергии (газоразрядные лампы, лампы накаливания и др.) на рынке. Эффективность светодиодов для превращения энергии в свет увеличилась, как и их рабочий срок службы, что значительно снизило их эффективные эксплуатационные расходы. Средняя 60-ваттная лампа накаливания производит около 16 люмен на ватт и имеет срок службы 1000 часов; эквивалентно яркая компактная люминесцентная лампа производит 67 люмен на ватт и длится 10 000 часов, а

эквивалентный светодиод производит около 83 люмен на ватт со сроком службы 30 000 часов. Следовательно, долгосрочная экономия энергии и денежных средств от изменения технологии освещения огромна. Кроме того, ожидается, что стоимость светодиодных ламп будет продолжать снижаться, а их эффективность и срок службы - улучшаться. Светодиоды также имеют преимущества помимо эффективности и стоимости. Как и лампы накаливания, светодиоды мгновенно включаются на полную яркость; КЛЛ может занять минуту или больше, чтобы разогреться. В отличие от ламп накаливания и КЛЛ, светодиоды прохладны на ощупь и могут многократно включаться и выключаться без сокращения срока их службы. Светодиоды могут быть адаптированы для излучения определенных длин волн (цветов) света, и они обеспечивают лучшее качество света, чем КЛЛ, с минимальным выходом инфракрасного или ультрафиолетового света. Светодиоды не выгорают внезапно, а наоборот, становятся более тусклыми по мере старения: срок службы светодиода считается истекшим, когда его яркость уменьшается на 30 процентов. Светодиоды не содержат ртути, в отличие от КЛЛ.

В настоящее время наружное применение светодиодов для освещения улиц и проезжей части, парковок, гаражей и экстерьеров зданий опережает внутреннее жилое, коммерческое и промышленное применение. Однако ожидается, что за счет вышеперечисленных преимуществ светодиодного освещения, эта тенденция изменится, и большая часть всех применений освещения будут светодиодной.

#### Литература

1. Башаркевич, Е.К. Светоизлучающий диод / Е.К. Башаркевич; науч. рук. Е.П. Корсак // Актуальные проблемы энергетики: материалы 75-й научно-технической конференции студентов и аспирантов: секция "Экономика и организация энергетики" / сост. Т.Е. Жуковская. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 13-16.
2. Берг, А. Светодиоды / А. Берг, П. Дин. - Перевод с английского под редакцией канд. физ.-мат. наук А.Э. Юновича. – Москва: Мир, 1979. – 686 с.
3. Вилисов, А.А. Светоизлучающие диоды / А.А Вилисов. - Вестн. Том. гос. ун-та. 2005. №285.
4. Шукель, В.Р. Светодиоды / В.Р. Шукель; науч. рук. В.В. Зеленко // Актуальные проблемы энергетики: материалы 70-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет. Секция 6: Электротехника и электроника. – Минск: БНТУ, 2014. – С. 287-288.