

ОПТРОНЫ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР СВЕРХЪЯРКИХ СВЕТОДИОДОВ

Сокольников А. В., Сергеев П. Н.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева», г.Саранск

E-mail: sokolnikov-av@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования гетероструктур сверхъярких светодиодов для использования их в оптронах в качестве источника излучения и фотоприемников. Рассмотрены передаточные характеристики вариантов оптронов на основе светодиодов различного цвета свечения

Ключевые слова: сверхъяркий светодиод, гетероструктура, фоточувствительность, коэффициент передачи оптрона

Введение

Развитие полупроводниковых светоизлучающих диодов и технологически совершенных высокоэффективных быстродействующих кремниевых фотоприемников с $p-n$ -переходами в 60-х годах привело к созданию разнообразных оптронов. Этим приборам свойственен ряд недостатков. Одним из недостатков является конструктивно-технологическое несовершенство. Как известно оптрон состоит из источника и фотоприемника света. В качестве источника используется – светодиод, а в качестве фотоприемника – фотодиод, фоторезистор и т.д.

Для создания оптимально совершенного оптрона в конструктивно – технологическом плане необходимо чтобы и источник света и приемник были согласованы по оптическому каналу. Это лучшим образом достигается в гетероструктурах. В качестве источника лучше использовать сверхъяркие светодиоды, так как у них высокая квантовая эффективность и светоотдача. Сверхъяркие светодиоды основаны как известно на гетеропереходах с квантовыми ямами. Исследования фотоэлектрических свойств гетеропереходов проводили многие авторы [1,2,3]. В этих работах отмечены эффекты известные для $p-n$ гетероструктур и аномальные эффекты в более сложных структурах. Однако исследования гетероструктур светодиодов для создания фотоприемников известно только недавно [4]. Известно что, светодиодная гетероструктура сверхъярких светодиодов выполнена для оптимального вывода излучения. Поэтому обратный процесс проникновения внешнего освещения к $p-n$ гетеропереходу тоже оптимален. С этой точки зрения на наш взгляд гетероструктура светодиода являются перспективной структурой для создания на ее основе эффективного фотоприемника. Создание одинаковых по конструкции источника излучения и фотоприемника позволит в будущем создать оптрон на одном кристалле в процессе единого технологического цикла.

Цель настоящей работы – исследование свойств оптронов на основе гетероструктур сверхъярких светодиодов.

Выбор источника излучения и фотоприемника для оптрона

Как известно, оптрон состоит из излучателя и приемника оптического излучения. В качестве излучателя используются различные источники, но чаще всего светодиоды. В качестве фотоприемника используются различные структуры, чувствительные в видимой и инфракрасной области. Наиболее универсальными являются фотоприемники с $p-n$ -переходами (фотодиоды, фототранзисторы, фоторезисторы). Коэффициент передачи диодной оптопары $K_i = 0,01 \div 0,03$; транзисторной оптопары $K_i = 0,5 \div 2,5$.

В данной работе в качестве источника излучения оптрона использовались коммерческие сверхъяркие светодиоды китайского производства. В качестве фотоприемника оптрона также использовались аналогичные сверхъяркие светодиоды. Это обусловлено тем, что сверхъяркий светодиод может быть как источником, так и фотоприемником излучения [4].

Для использования структур сверхъярких светодиодов в качестве фотоприемника для оптрона проведем предварительные измерения фоточувствительности светодиодов от излучения таких же светодиодов при облучении их светом таких же светодиодов.

Рассмотрим методику исследования и основные соотношения для расчета фоточувствительности светодиода, а так же коэффициента передачи оптрона на основе таких структур.

Исследование светодиодных пар различного цвета.

Для исследования мы использовали фотоячейку представленную на рисунке 1. На этом же рисунке показана электрическая схема для измерения тока через сверхъяркий светодиод, напряжения холостого хода и тока короткого замыкания на фотоприемнике. Конструкция фотоячейки имеет форму цилиндра диаметром 5 мм, в которую с одной стороны вставляется исследуемый фотоприемник на основе сверхъяркого светодиода, а с другой стороны источник излучения на основе светодиода. В цилиндре фотоячейки светодиод и фотоприемник соприкасаются линзами друг с другом. Таким образом, излучение из кристалла светодиода проходя через оптическую среду и через линзу фокусировалось на линзу фотоприемника и через оптическую среду фотоприемника излучение попадало на кристалл фотоприемника. В такой конструкции все боковые потери излучения практически отсутствуют.

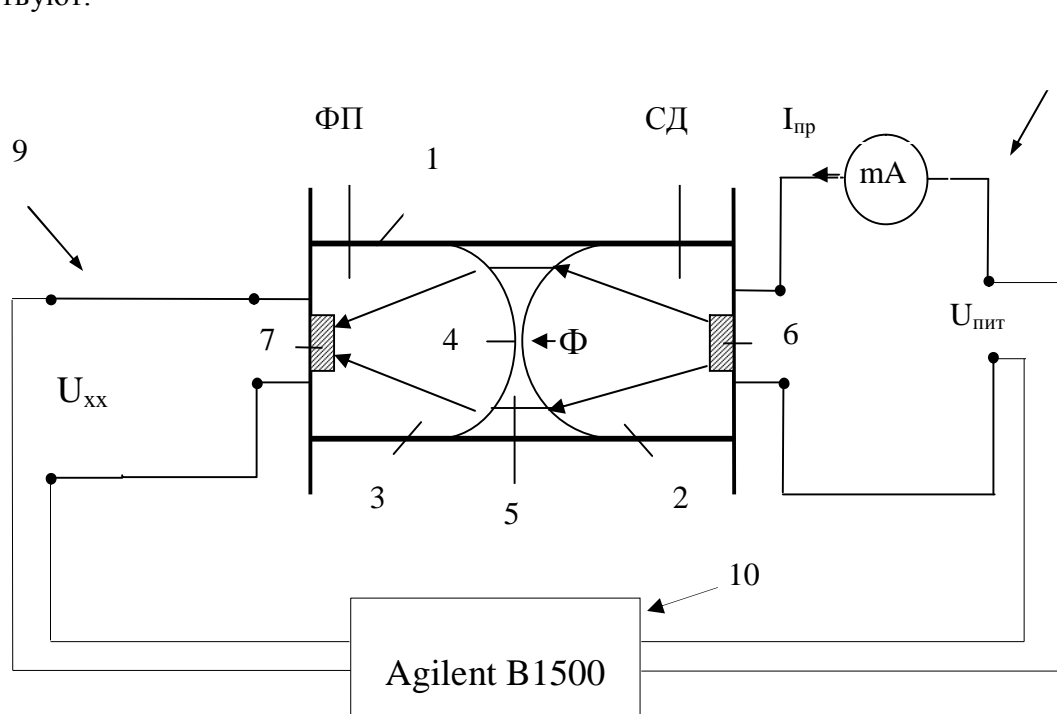


Рисунок 1 – Установка для измерения фоточувствительности светодиодов:

1) металлический цилиндр; 2) сверхъяркий светодиод; 3) фотоприемник на основе идентичного СД; 4) оптические линзы; 5) оптическая среда; 6) кристалл светодиода; 7) кристалл фотоприемника; 8) схема включения сверхъяркого светодиода; 9) схема измерения напряжения холостого хода U_{xx} и тока $I_{кз}$, 10) анализатор полупроводниковых устройств Agilent B1500

Для исследования выбирали сверхяркие светодиоды синего, зеленого, желтого, красного, белого, фиолетового цветов. Далее проводили исследование зависимости напряжения холостого хода $U_{x.x.}$ и тока короткого замыкания $I_{к.з.}$ фотоприемников на основе светодиода синего, зеленого, желтого, красного, белого, фиолетового цветов от излучения разных сверхярких светодиодов при различных значениях прямого тока I_{np} через светодиод, т.е. $U_{x.x.} = f(I_{np})$, $I_{к.з.} = f(I_{np})$.

Вольт- амперные и люмен-амперные характеристики светодиодов

Для измерения вольт - амперных и люмен - амперных характеристик использовался анализатор полупроводниковых устройств Agilent В 1500А. Электрическая схема представлена на рисунке 1.

Фоточувствительность светодиодных структур

Фоточувствительность определяется как чувствительность по току S_i .

$$S_i = \frac{I_{\text{ФТ}}}{P_{\text{изл}}} = \frac{[\text{А}]}{[\text{Вт}]}, \quad \text{где } I_{\text{ФТ}} - \text{ фототок} \quad (1)$$

и по напряжению S_v

$$S_v = \frac{U_{x.x.}}{P_{\text{изл}}} = \frac{[\text{В}]}{[\text{Вт}]}, \quad (2)$$

Для определения фоточувствительности в зависимости от светового потока для светодиодных структур построим зависимости мощности излучения от прямого тока через светодиод $P_{\text{Э}} = f(I_{np})$. При этих токах светодиод освещая фотоприемник (СД такого же цвета) вызывает на фотоприемнике фотоЭДС равную $U_{x.x.}$

Коэффициент передачи оптрона

Коэффициент передачи $K_{п}$ – это отношение выходного сигнала к входному. Различают коэффициент передачи оптрона по току K_i и по напряжению K_v .

Коэффициент передачи по току определяется как:

$$K_i = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}, \quad (3)$$

Коэффициент передачи по напряжению определяется как:

$$K_v = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}, \quad (4)$$

Для определения коэффициента передачи нужно построить зависимости $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$, $I_{\text{вых}} = f(I_{\text{вх}})$, которые называются передаточными характеристиками.

Определение требований к измерительной аппаратуре для измерения фотоэлектрических свойств светодиодных структур

Измерительная установка предназначена для измерения ВАХ и ЛАХ светодиодов. Установка должна измерять напряжение и ток на светодиоде, а так же напряжение холостого хода $U_{x.x.}$ и ток короткого замыкания $I_{к.з.}$ на фотоприемнике. Результаты выводятся на мониторе компьютера в виде таблицы.

Для измерения вольт - амперной характеристики необходимо наблюдать ее изменение при малейшем изменении входного напряжения, это возможно только при малом шаге изменения напряжения. Снятие такой вольт - амперной характеристики вручную создает

определенные трудности, поэтому необходим прибор для автоматизированных измерений и обработки результатов на ПК.

Данным требованиям к измерительной аппаратуре удовлетворяет измерительная установка Agilent B1500A. Для определения параметров полупроводниковых приборов необходимы измерения как I-V- (вольт-амперных), так и V-C- (вольт-фарадных) характеристик. Для современных технологических процессов обычно требуется, чтобы точные измерения I-V- и C-V-характеристик устройств на полупроводниках выполнялись за один проход. Анализатор полупроводниковых устройств Agilent B1500A, собранный в едином базовом блоке, обеспечивает измерение I-V- и C-V-характеристик при однократном проходе за счет использования нового MFCMU (многочастотного блока измерения емкости), размещенного в одном слоте, и двух измерителей SMU (блоков генератора/измерителя).

Результаты измерений характеристик сверхъярких светодиодов

1. Прямые ВАХ светодиодов различного цвета

На рисунке 2 изображена ВАХ для светодиодов красного и желтого цвета.

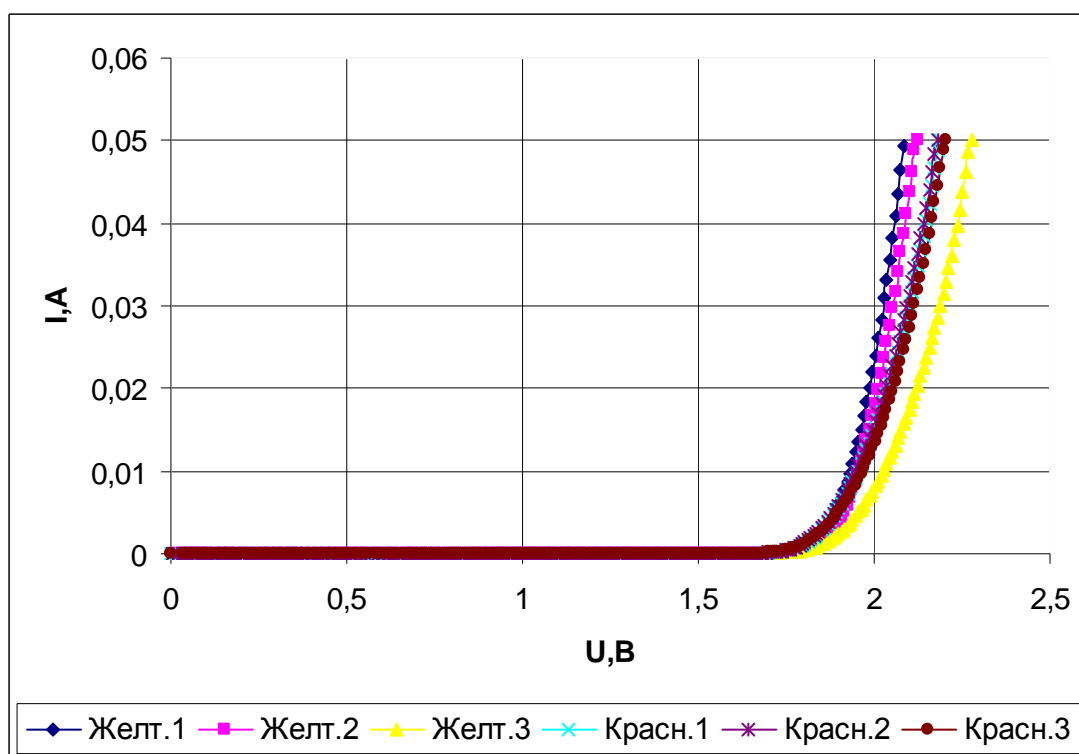


Рисунок 2 – Прямые ВАХ светодиодов желтого и красного цвета

На рисунке 3 изображена ВАХ для светодиодов синего, фиолетового, зеленого, белого цвета.

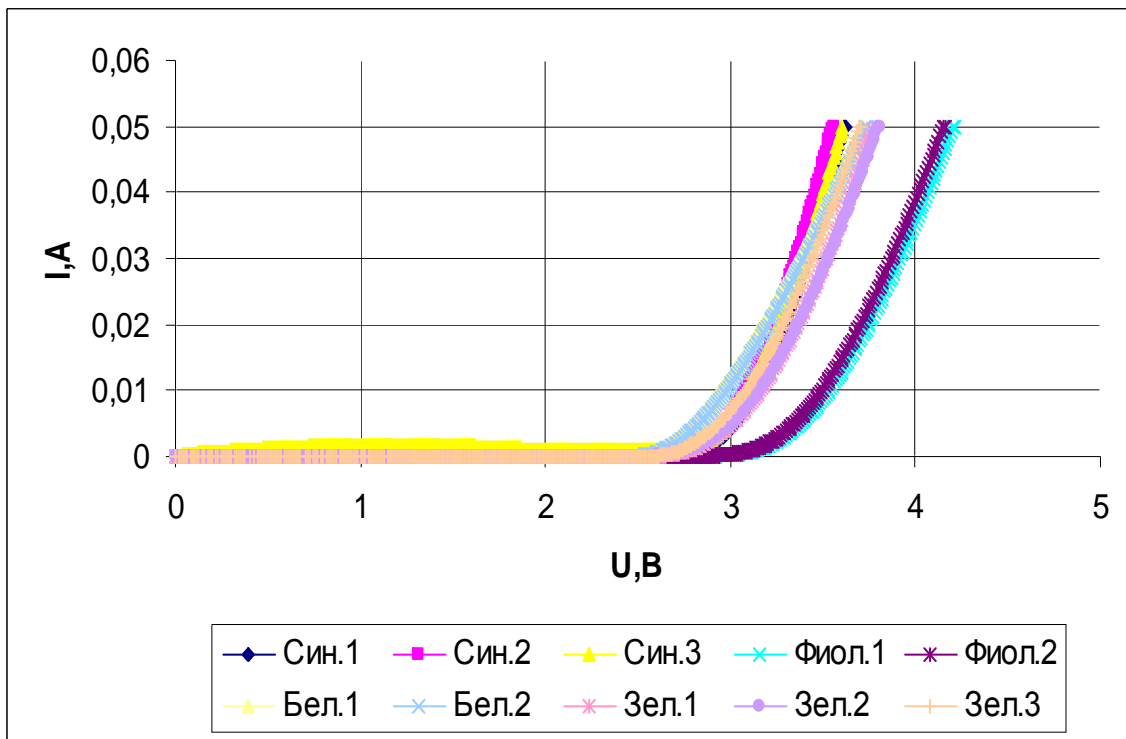


Рисунок 3 – Прямые ВАХ белого, синего, зеленого и фиолетового цвета

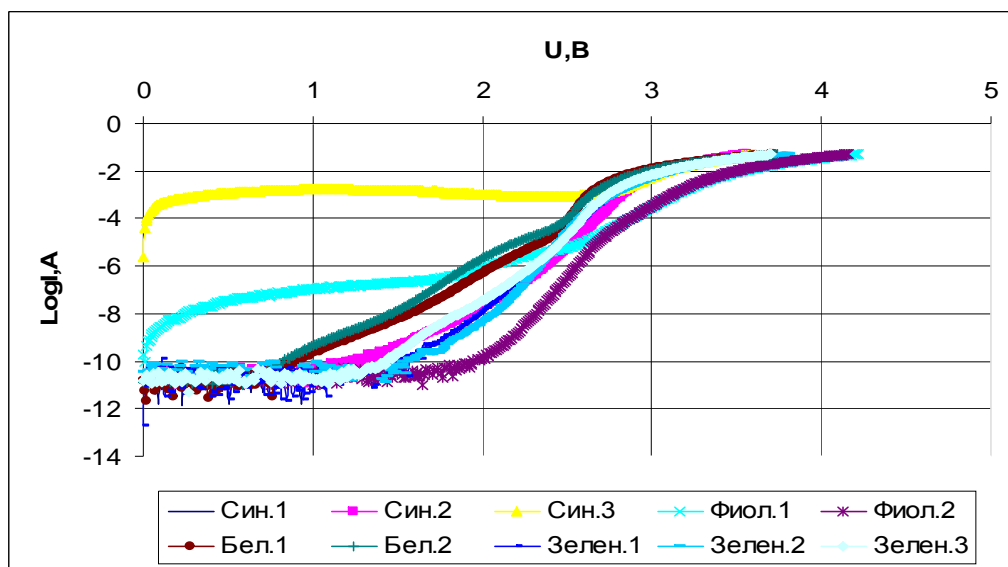


Рисунок 4 - Зависимость $\text{Log} I = f(U)$ для синего, фиолетового, белого и зеленого светодиода.

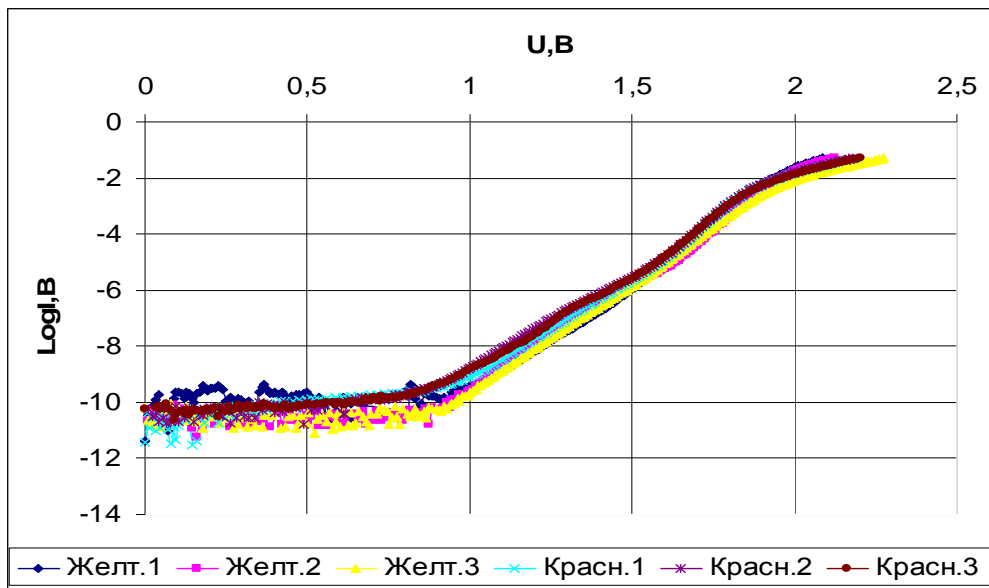


Рисунок 5 - Зависимость $\text{Log} I = f(U)$ для желтого и красного светодиода

2. Токи короткого замыкания и напряжение холостого хода фотоэлемента на основе гетероструктур светодиодов при их освещении светом исследуемых светодиодов

Для измерения зависимости $I_{к.з} = f(P)$ воспользуемся схемой включения изображенной на рисунке 6.

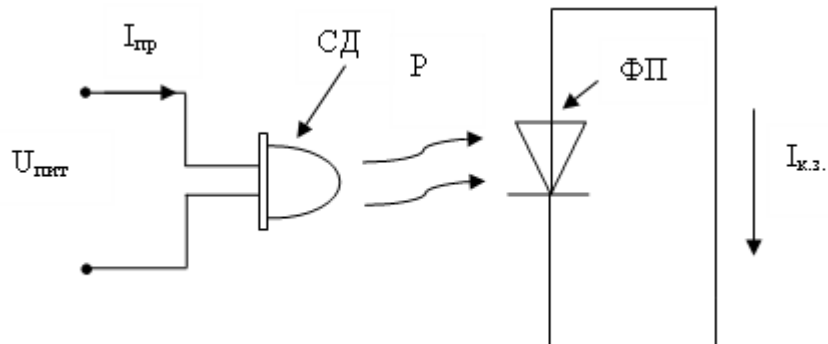


Рисунок 6 – Схема включения для измерения $I_{к.з} = f(P)$

На рисунках 7 – 8 изображены зависимости $I_{кз}=f(P)$ для некоторых светодиодных пар оптрона различного цвета.

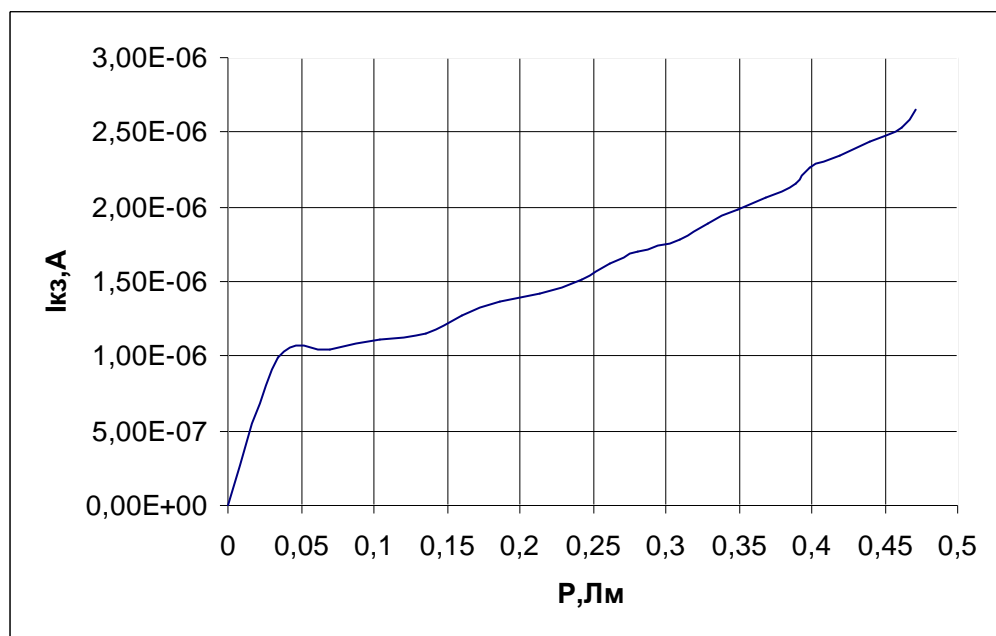


Рисунок 7 – Зависимость $I_{кз}$ от P для светодиодных пар ИС-Син.2 ФП-Син.3

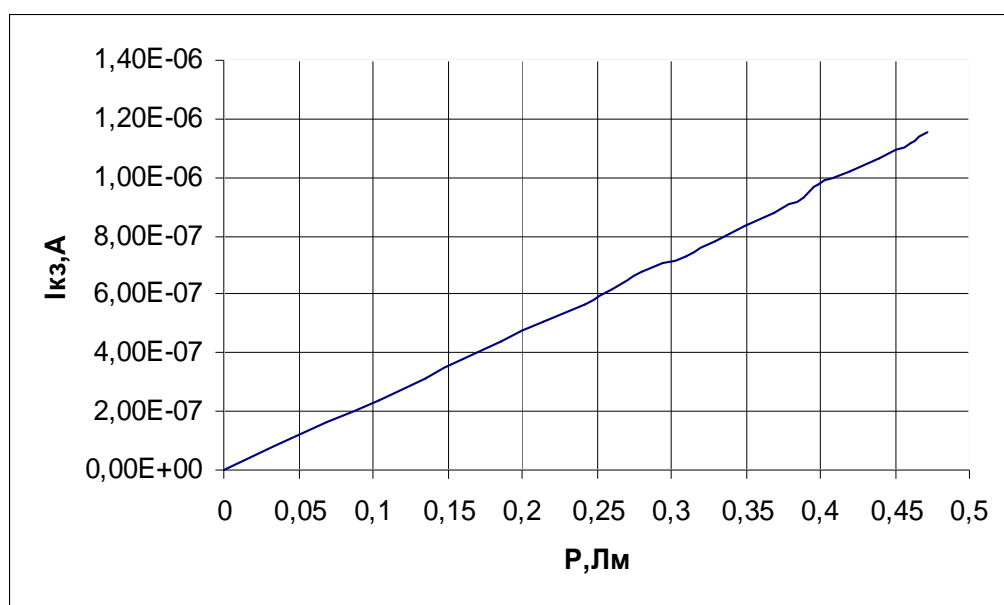


Рисунок 8 – Зависимость $I_{кз}$ от P для светодиодных пар ИС-Син.2 ФП-Желт.3

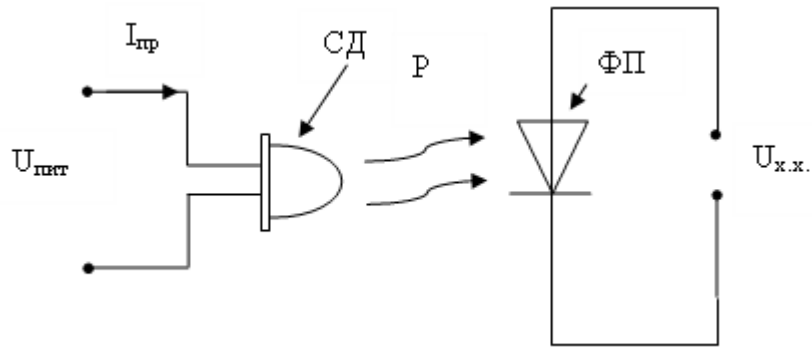


Рисунок 9 – Схема включения для измерения $U_{x.x.}=f(P)$

На рисунках 10 – 13 изображены зависимости $U_{x.x.}=f(P)$ для некоторых светодиодных пар оптрона различного цвета.

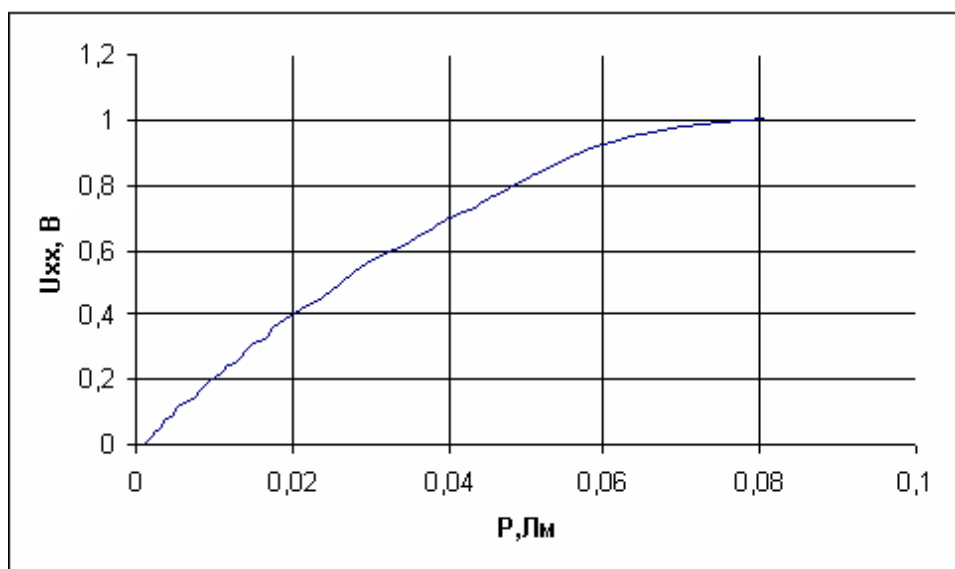


Рисунок 10 - Зависимость $U_{x.x.}$ от P для светодиодных пар ИС-Красн.2 ФП-Красн.3

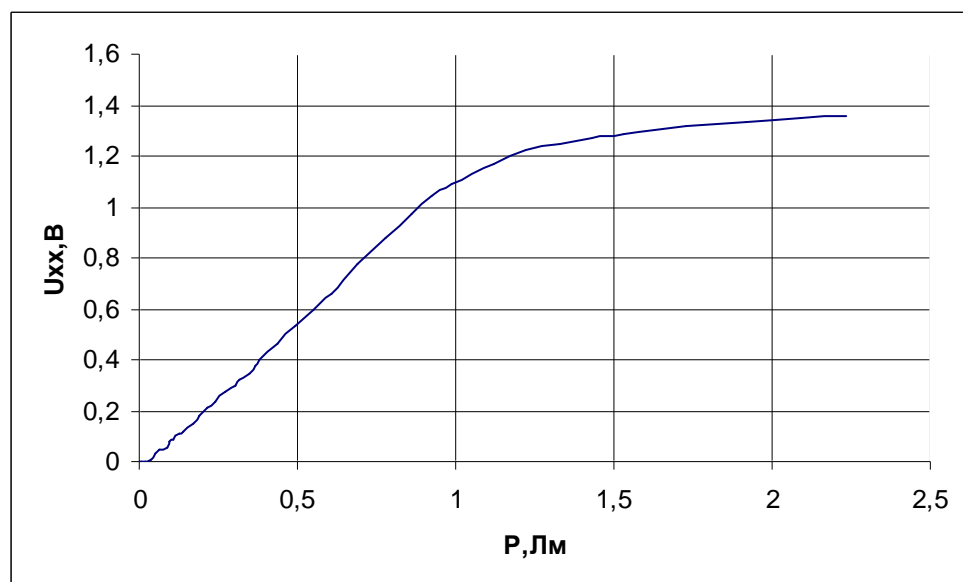


Рисунок 11 - Зависимость $U_{x.x.}$ от P для светодиодных пар ИС-Зелен.2 ФП-Зелен.3

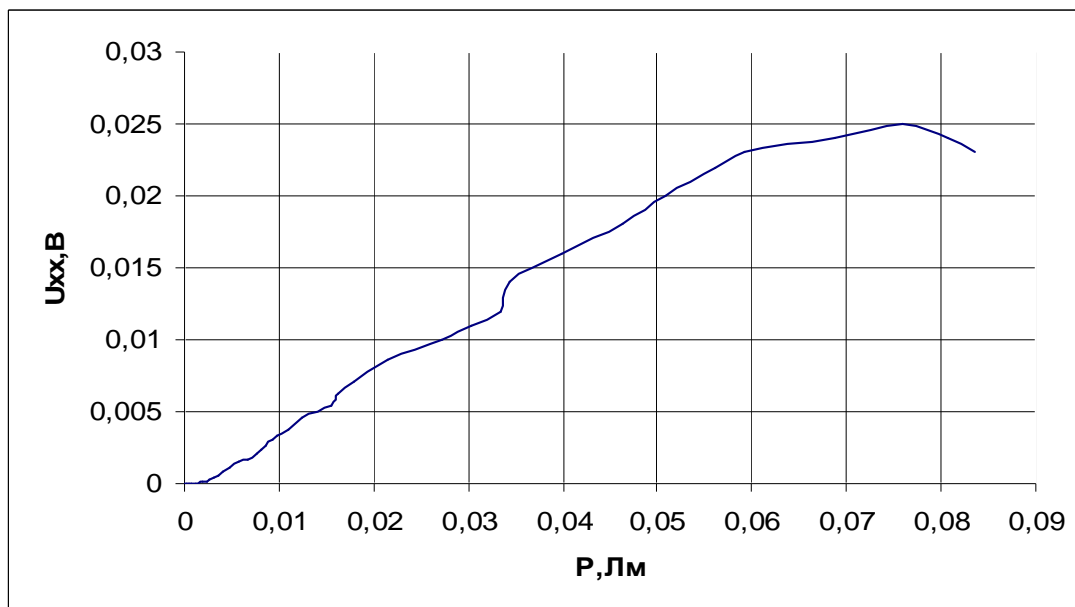


Рисунок 12 - Зависимость U_{xx} от P для светодиодных пар ИС-Фиол.2 ФП-Син.3

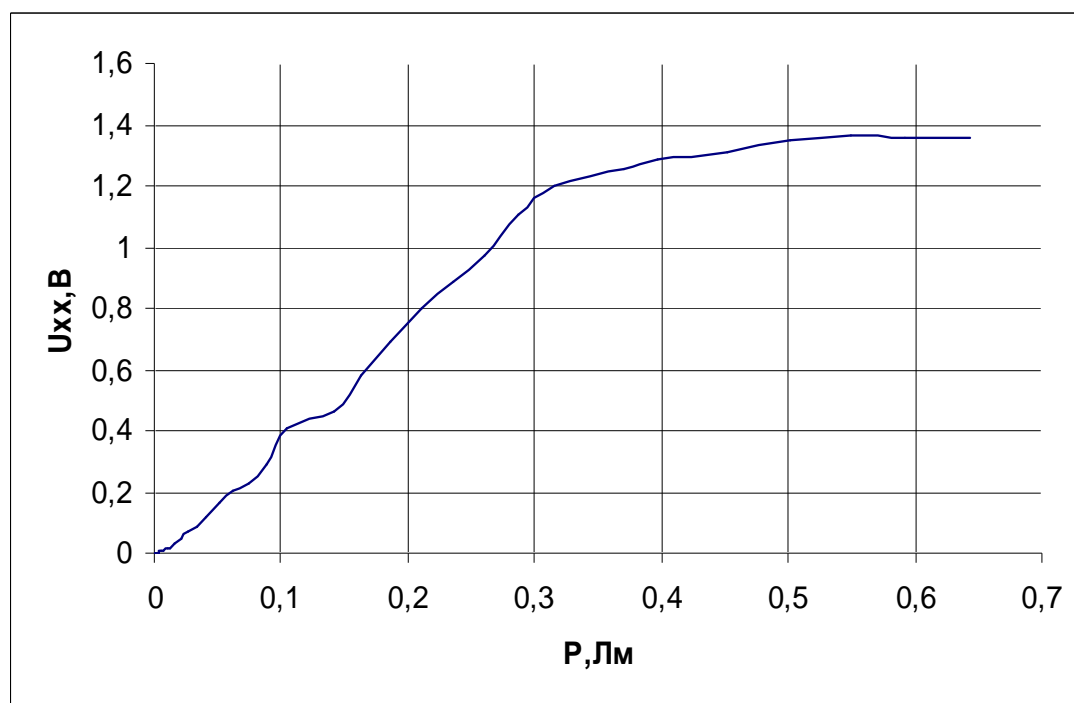


Рисунок 13 - Зависимость U_{xx} от P для светодиодных пар ИС-Желт.2 ФП-Желт.3

Варианты оптронов на основе исследуемых структур сверхъярких светодиодов и их передаточные характеристики

На основе исследуемых структур светодиодов мы сконструировали оптроны. Для оптронов существуют различные виды коэффициентов передач. Коэффициент передачи по напряжению K_V – это отношение выходного напряжения $U_{вых}$ к входному $U_{вх}$

$$K_V = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}, \quad (5)$$

Коэффициент передачи по току K_i – это отношение выходного тока $I_{вых}$ к входному $I_{вх}$

$$K_i = \frac{I_{вых}}{I_{вх}}, \quad (6)$$

Из этих выражений видно что из отобранных вариантов оптронов необходимо знать $I_{вх}$, $I_{вых}$, $U_{вх}$, $U_{вых}$. Так как в нашем случае входное напряжение $U_{вх}$, это есть прямое напряжение $U_{пр}$; выходное напряжение $U_{вых}$, это есть $U_{х.х.}$; входной ток $I_{вх}$, это прямой ток $I_{пр}$; выходной ток $I_{вых}$, это есть ток короткого замыкания $I_{к.з.}$, тогда коэффициенты передачи по напряжению и по току будут равны соответственно:

$$K_v = \frac{U_{х.х.}}{U_{пр}}, \quad (7)$$

$$K_i = \frac{I_{к.з.}}{I_{пр}}, \quad (8)$$

Из графиков на рисунках 2,3,7,8,10-13 можно вычислить K_v и передаточные характеристики различных вариантов оптронов.

В таблице 1 приведены различные варианты оптронов на основе светодиодных пар и их характеристики. На рисунках 14-17 приведены соответствующие передаточные характеристики некоторых оптронов, по ним можно определить коэффициент передачи

Таблица 1 - Сводная таблица характеристик оптронов на основе различных пар сверхъярких светодиодов.

№	Оптрон		Коэффициент передачи по напряжению		Коэффициент передачи по току	
	ИС	ФП	Диапазон линейного участка, [В]	K_v	Диапазон линейного участка, [А]	K_i
1	Син.2	Син.3	3,1463-3,6395	0,32	0,0021-0,02	0,008
2	Фиол.2	Желт.3	3,0573-3,213	0,34	0,005-0,02	0,004
3	Зелен.2	Желт.3	2,5832-2,7016	0,38	0,0055-0,02	0,005
4	Желт.2	Красн.3	1,8823-1,9791	0,53	0,0075-0,02	0,0004
5	Красн.2	Красн.3	1,7866-1,8705	0,56	0,0055-0,02	0,005
6	Бел. 2	Зелен.3	2,5666-2,7917	0,39	0,005-0,02	0,00175
7	Зелен.2	Зелен.3	2,8357-3,1509	0,36	0,005-0,02	0,005
8	Желт.2	Желт.3	1,8809-1,9776	0,53	0-0,01;0,01-0,02	0,0001 0,0066
9	Бел. 2	Желт.3	2,5698-2,6705	0,39	0,005-0,02	0,005
10	Фиол.2	Красн.3	3,0191-3,675	0,33	0,0075-0,02	0,003
11	Бел. 2	Красн.3	2,5981-2,6814	0,39	0,0025-0,02	0,001
12	Фиол.2	Зелен.3	3,0303-3,203	0,33	0-0,02	0,0003
13	Зелен.2	Красн.3	2,6304-2,336	0,38	0,005-0,02	0,004
14	Син.2	Зелен.3	2,7382-2,8488	0,36	0,005-0,02	0,002
15	Фиол.2	Син.3	3,1037-3,6778	0,32	0,0075-0,02	0,006
16	Син.2	Желт.3	2,7735-2,8768	0,36	0,005-0,02	0,014
17	Син.2	Красн.3	2,7862-2,8926	0,36	0,005-0,02	0,0013

Анализ передаточных характеристик для всех оптронов показал, что передаточные характеристики по напряжению носят в основном нелинейный характер, но на определенном интервале они линейны. Передаточные характеристики по току, близки к линейной зависимости. Наибольший интерес представляют оптроны с линейными участками. На рисунках 15-17 показаны линейные аппроксимации.

В таблице 1 приведены коэффициенты передачи по току и напряжению, на выделенных линейных участках в диапазоне токов, либо напряжений. Коэффициенты передачи по напряжению находятся в диапазоне от 0,32 до 0,96, а для коэффициентов передачи по току от 0,0001 до 0,14.

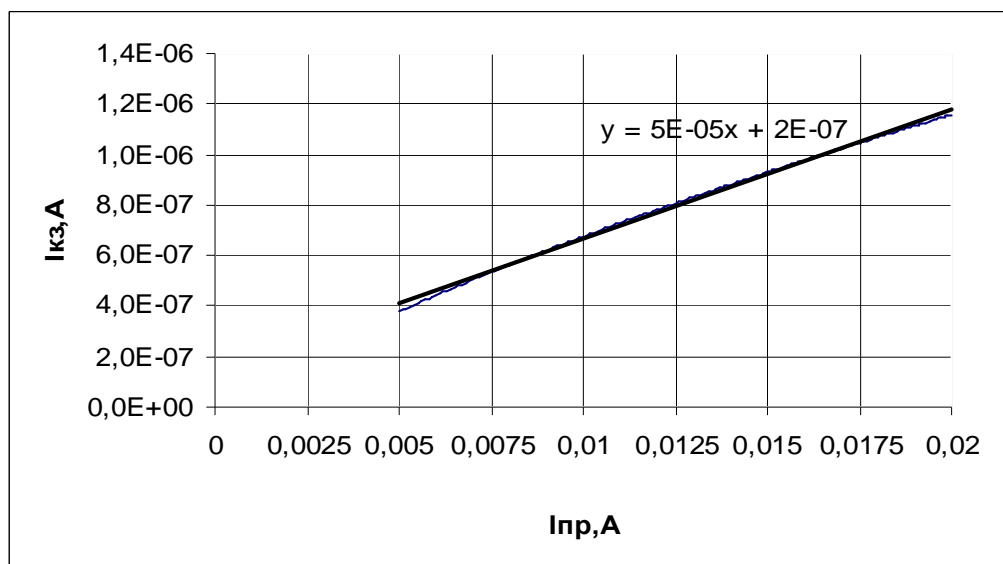


Рисунок 14 - Зависимость $I_{кз}$ от $I_{пр}$ при $U_{см}=0$ для светодиодных пар ИС-Син.2 ФП-Желт.3

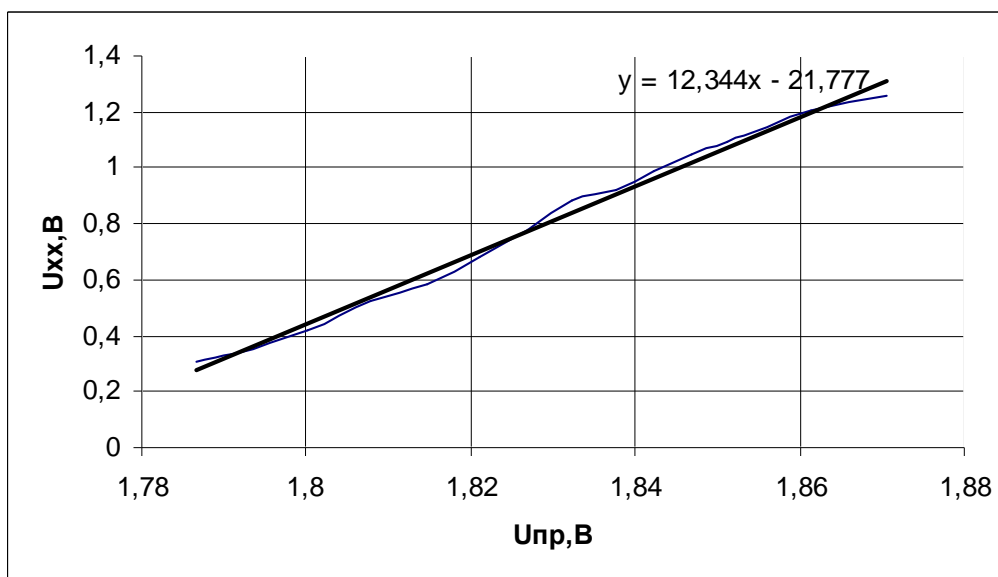


Рисунок 15 – Зависимость $U_{хх}$ от $U_{пр}$ для светодиодной пары ИС-Красн.2 ФП-Красн.3

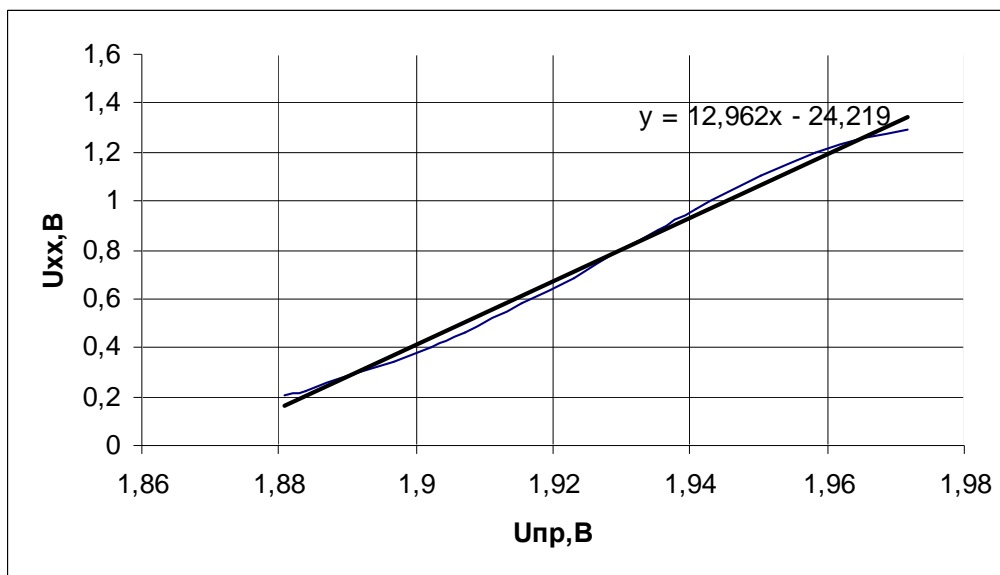


Рисунок 16 – Зависимость U_{xx} от U_{pr} для светодиодной пары ИС-Желт.2 ФП-Желт.3

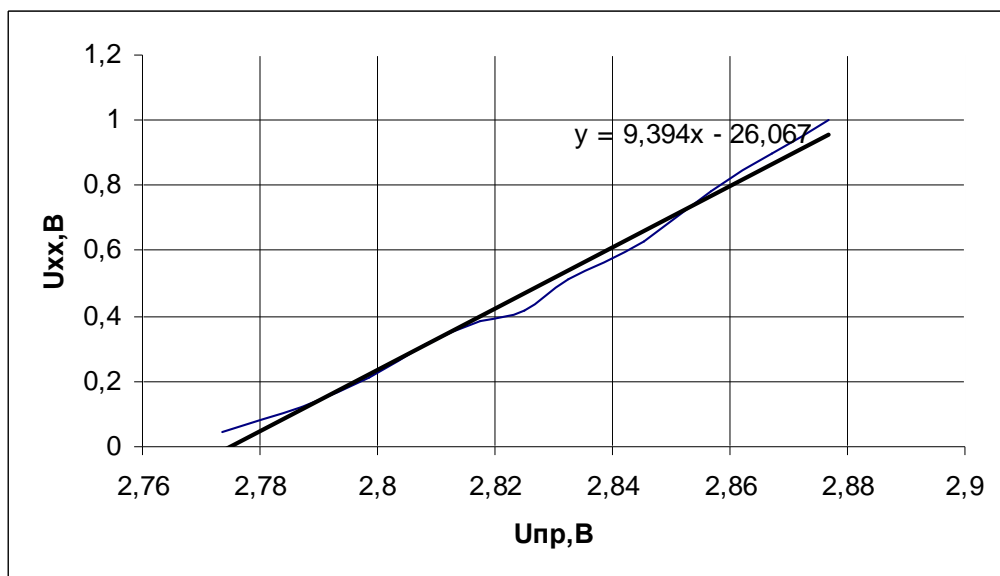


Рисунок 17 – Зависимость U_{xx} от U_{pr} для светодиодной пары ИС-Син.2 ФП-Желт.3

Выводы

В результате проведенных исследований нами получены результаты, которые позволяют оценить возможность использования светодиодных пар в качестве оптронов.

Результаты расчетов коэффициентов передачи светодиодов по напряжению и току приведены в таблице 1.

- Передаточные характеристики по напряжению и по току на определенных участках линейны.
- Оценка фоточувствительности светодиодных структур по величине напряжения холостого хода $U_{x,x}$ показывает, что $U_{x,x}$ возрастает с ростом $R_э$.
- Наибольший коэффициент передачи по току у оптронной пары синий источник желтый фотоприемник $K_i = 0,014$, наибольший коэффициент передачи по напряжению у оптронной пары красный источник красный фотоприемник $K_v = 0,56$
- Результаты исследований можно использовать для создания оптрона в многослойной гетероструктуре.

Список использованной литературы

1. Климов, Б. Н. Гетеропереходы в полупроводниках / Б. Н. Климов – М.: Издательство саратовского госуниверситета, 1978. –215с.
2. Розеншер, Э. Оптоэлектроника / Э. Розеншер, Б. Винтер – М.: Техносфера, 2006. –592с.
3. Зи, С. Физика полупроводниковых фотодиодов / С. Зи – М.: Мир, 1984. – 325с.
4. Сокольников А.В, Исследование фоточувствительности гетероструктур сверхъярких светодиодов с квантовыми ямами / А.В. Сокольников // Фундаментальные и прикладные физики: сб.материалов V междунар. науч. – практ. конф. / под науч. ред. В.К. Свешникова; Мордов. гос. пед. ин-т. – Саранск, 2009. с.142 – 143