



РОСАТОМ



Полупроводниковые лазеры



Е. Юркова
ЯРФ-34Д

Саров-2017





РОСАТОМ

Историческая справка



Эффект вынужденного излучения был предсказан А. Эйнштейном (1917 г.). Более 30 лет к его результату относились как к формальному способу избежать теоретические трудности или как к эффекту, осуществляющемуся в «экзотических», недоступных условиях.

Честь быть родоначальниками квантовой электроники принадлежит советским ученым П. Г. Басову и А. М. Прохорову (Ленинская премия 1962 г.) и американскому ученому Ч. Таунсу (все трое удостоены Нобелевской премии по физике 1964 г.). [1]

Идея применения полупроводников для генерации излучения была сформулирована в 1958—1959 гг. Н. Г. Басовым, Б. М. Вулом и Ю. М. Поповым в то время, когда лазеров еще не существовало. В 1961 г. Н. Г. Басов, О. Н. Крохин и Ю. М. Попов предложили использовать для получения лазерного эффекта инжекцию в вырожденных $p-n$ переходах. Лазер такого типа (инжекционный лазер) был осуществлен в 1962 г. в целом ряде лабораторий США и СССР именно на основе вырожденного $p-n$ -перехода в соединении арсенид галлия (GaAs). Первое сообщение об этом дал Р. Холл с сотрудниками (США). [1]

Позже Н. Г. Басов, О. В. Богданкевич, А. Г. Девятков сообщили о получении лазерного эффекта при бомбардировке кристалла CdS электронами высокой энергии. Эта работа послужила началом развития полупроводниковых лазеров с электронной накачкой. И. Г. Басов, А. З. Грасюк и В. А. Катулин получили также лазерный эффект при оптической накачке. [1]

В 1968 г. Ж. И. Алферовым и его сотрудниками были успешно осуществлены гетеролазеры.





РОСАТОМ

Физические принципы. Лазерные переходы

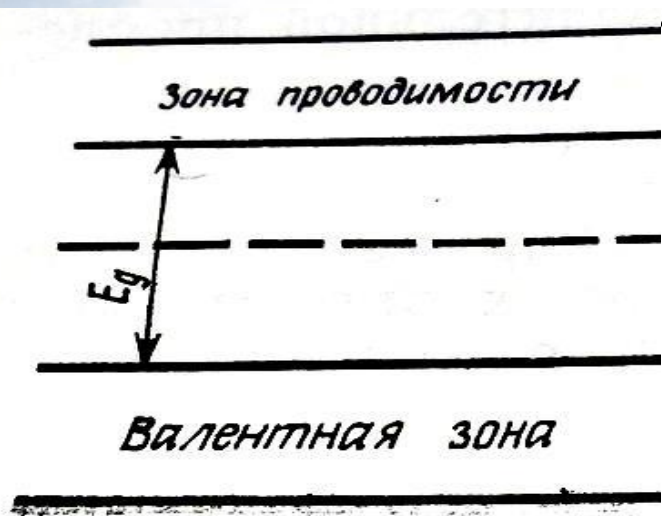


Рисунок 1 Валентная зона, зона проводимости и уровень Ферми в полупроводнике.

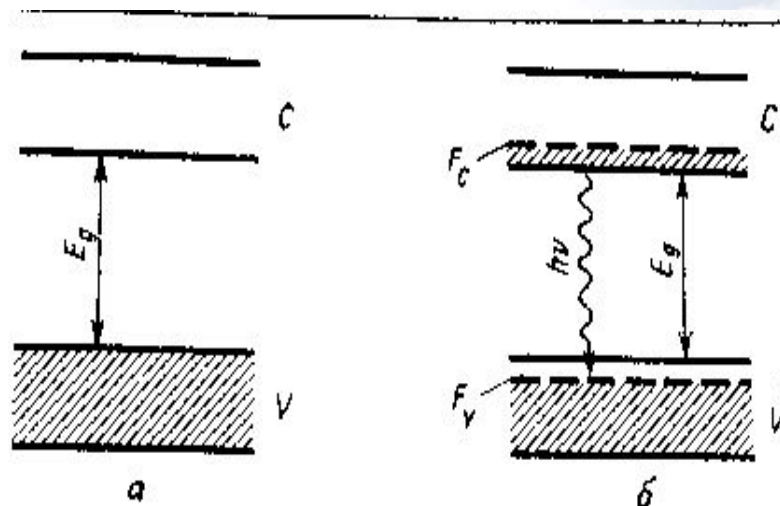


Рисунок 2 Принцип действия полупроводникового лазера





РОСАТОМ



Вспомним теперь, что необходимым условием лазерной генерации должно быть превышение числа вынужденных актов испускания фотонов над числом актов их поглощения (собственно, превышение нужно для того, чтобы скомпенсировать потери в резонаторе). Оба эти процесса пропорциональны произведению числа фотонов в резонаторе на коэффициент B для рассматриваемого перехода. С другой стороны, скорость вынужденного излучения также пропорциональна произведению вероятностей населенности верхнего уровня и отсутствия населенности нижнего уровня, в то время как скорость поглощения пропорциональна произведению вероятностей населенности нижнего уровня и отсутствия населенности верхнего уровня.





РОСАТОМ

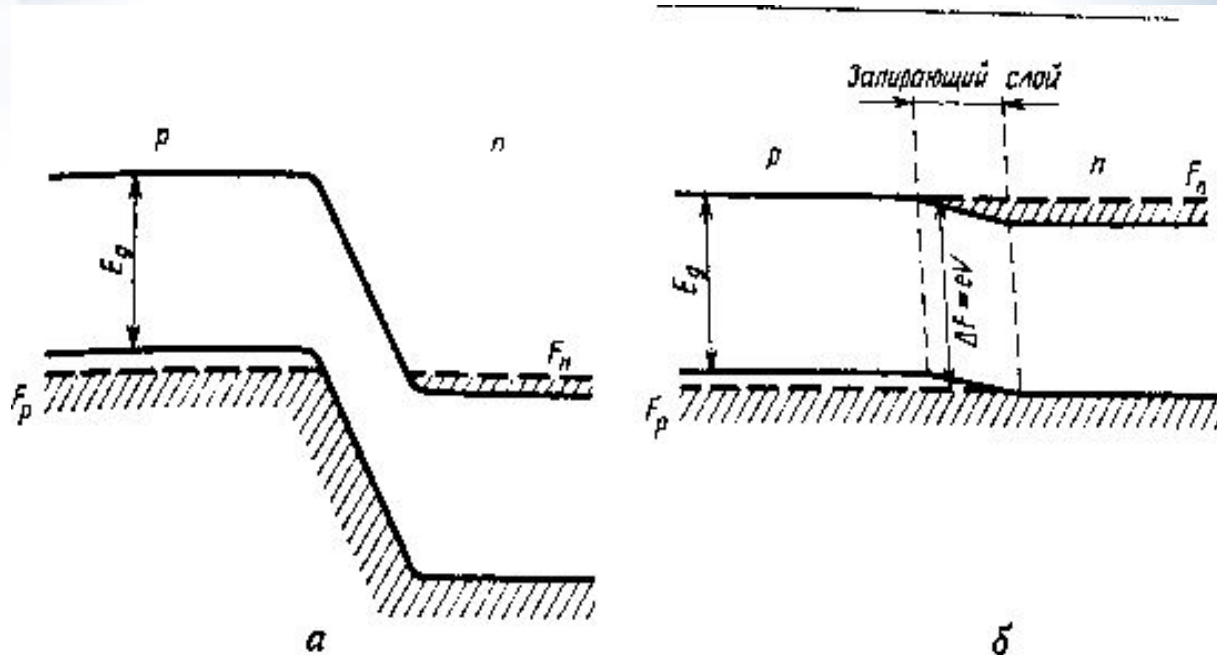


Рисунок 3 Принцип действия полупроводникового лазера с р—п—переходом. а – нулевое смещение; б – смещение в прямом направлении.





РОСАТОМ

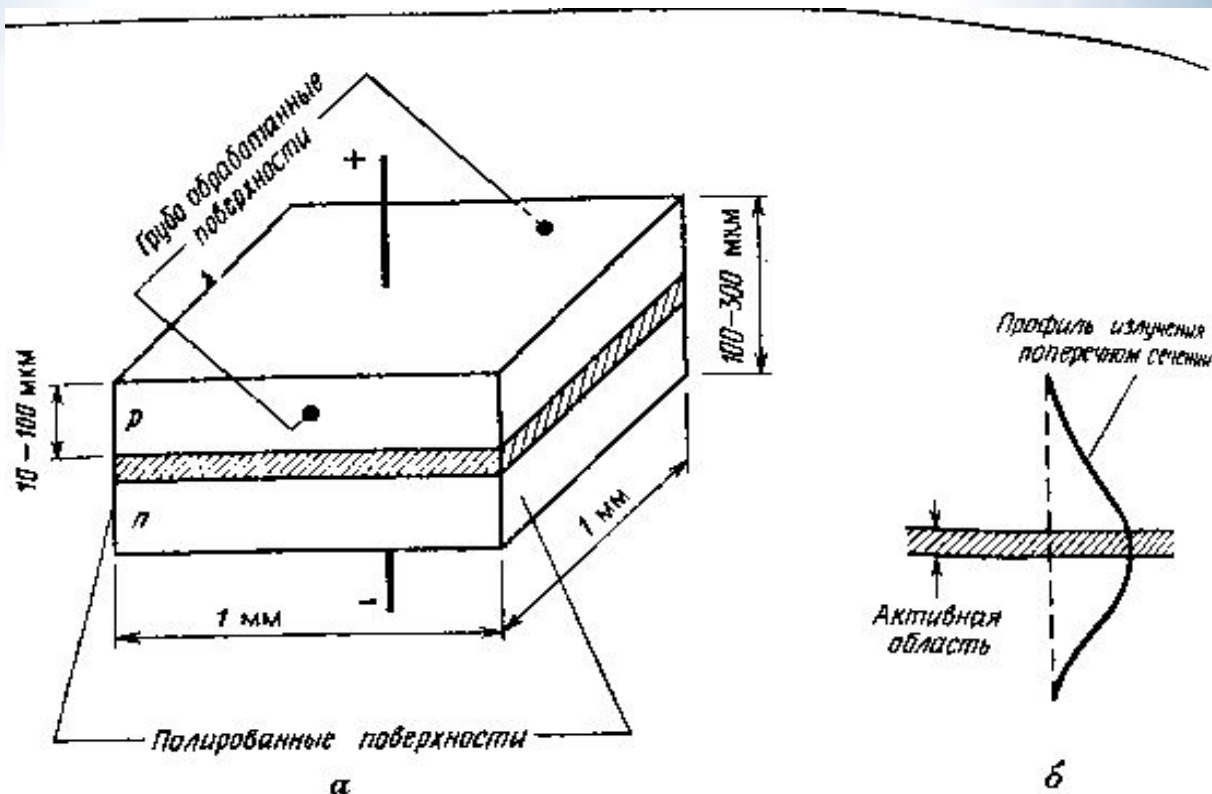


Рисунок 4 а- схема устройства полупроводникового лазера; б – распределение интенсивности излучения лазера в поперечном сечении.





РОСАТОМ

Полупроводниковые лазеры с гетеропереходом



Гетеропереход – это контакт двух различных полупроводников.

Гетеропереходы обычно используются для создания потенциальных ям для электронов и дырок в многослойных полупроводниковых структурах (гетероструктурах). Для создания лазера используют односторонние и двусторонние гетероструктуры, а так же некоторые модификации двусторонних гетероструктур.

Успеху применения гетеропереходов в инжекционных лазерах благоприятствовало одно важное обстоятельство. Дело в том, что создание совершенных гетеропереходов требует предельного совпадения кристаллографических характеристик материалов, составляющих гетеропереход. Таким условиям удовлетворяет пара арсенид галлия – арсенид алюминия.





РОСАТОМ

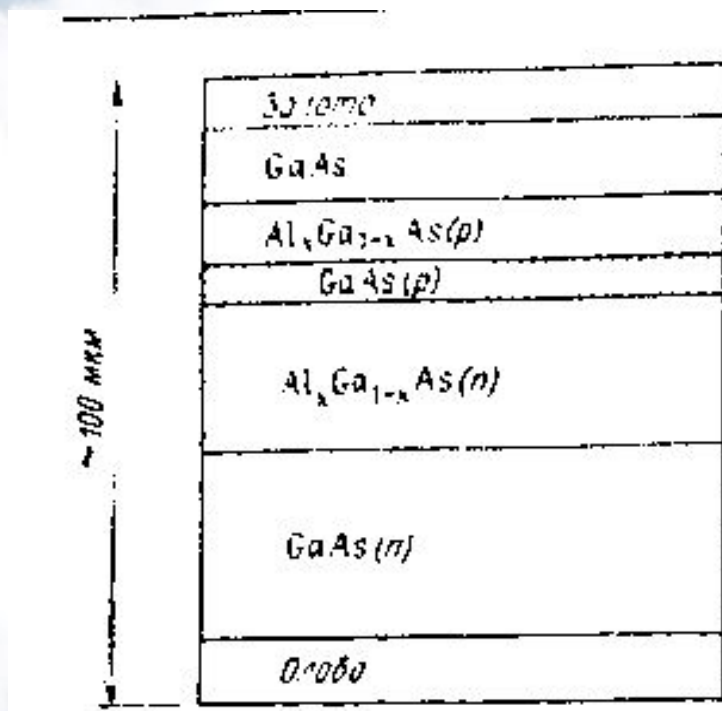


Рисунок 5 Схема устройства полупроводникового лазера с двойным гетеропереходом.

В диодах на двойных гетероструктурах (рисунок 5) между двумя различными материалами имеются два перехода: $Al_xGa_{1-x}As(p) - GaAs$ и $GaAs - Al_xGa_{1-x}As(n)$. Активная область представляет собой тонкий слой из GaAs (толщиной меньше 1 мкм).

Непрерывная генерация достигается благодаря следующим трем эффектам:

1) Показатель преломления $Al_xGa_{1-x}As$ значительно меньше показателя преломления GaAs

2) Активная область теперь является намного более определенной, и поэтому размеры ее меньше.

3) Значительно улучшен теплоотвод от диода





РОСАТОМ

Материалы для полупроводниковых лазеров.



Важнейшие бинарные прямозонные соединения, используемые в полупроводниковых лазерах

Вещество	$E_g, \text{эВ}$ ($T=300 \text{ K}$)	Рабочие длины волн, мкм	Коэффициент преломления	Подвижность, $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$		$T_{\text{па}}, \text{°C}$
				электронов	дырок	
A^{III}B^{VI}						
ZnO	3,2	0,38	2,2	180	—	—
ZnS	3,6	0,33	2,3	—	—	1850
ZnSe	2,6	0,46	2,4	100	—	—
ZnTe	2,2	0,53	2,7	—	7	—
CdS	2,4	0,49—0,52	2,3	210	—	1750
CdSe	1,74	0,69	2,5	500	—	1350
CdTe	1,43	0,78	2,7	600	—	1092
A^{III}B^V						
GaAs	1,43	0,83—0,92	3,6	8 600	400	1238
GaSb	0,69	1,5—1,6	3,8	4 000	650	712
InP	1,35	0,9—0,91	3,4	4 000	650	1058
InAs	0,36	3,0—3,2	3,5	30 000	240	942
InSb	0,17	5,2—5,4	4,0	76 000	5000	536
A^{IV}B^{VI}						
PbS	0,37	4,3	3,7	640	800	1114
PbSe	0,26	8,5	—	1500	1500	1080
PbTe	0,29	6,5	3,8	2100	800	917

Твердые растворы, используемые в полупроводниковых лазерах

Вещество	Интервал значений x для прямозонных составов	Диапазон длин волн, мкм	Некоторые основные длины волн, мкм
A^{III}B^V			
$\text{Al}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$	0—0,44	0,9—0,51	—
$\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$	0—0,74	0,9—0,56	0,61—0,7
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$	0—0,38	0,9—0,63	0,9—0,63
$\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$	0—0,44	0,9—0,63	0,9—0,63
$\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$	0—1	0,85—1,60	0,95—0,97
$\text{InGa}_{1-x}\text{As}$	0—1	0,85—3,10	0,85—1,06; 1,77; 2,07
$\text{InP}_{1-x}\text{As}_x$	0—1	0,90—3,10	0,94—1,10; 1,6; 2,0
$\text{InAs}_{1-x}\text{Sb}_x$	0—1	3,1—5,5	3,2
A^{IV}B^{VI}			
$\text{PbS}_x\text{Se}_{1-x}$	0—1	4,1—8,4	4,74; 5,52
$\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$	0—0,1; 0,19—0,4	8,5— ∞	8,5—34
$\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$	0—0,32	6,5— ∞	6,5—28
$\text{Pb}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}$	0—0,05	4,4—6,5	4,6—5,3
A^{III}B^V			
$\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$	0—1	0,59—0,69	0,675
$\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$	0—1	0,33—0,49	—
$\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$	0—1	0,53—0,79	—
$\text{ZnSe}_x\text{Te}_{1-x}$	0—1	0,46—0,53	—
$\text{Cd}_{1-x}\text{Hg}_x\text{Te}$	0—0,86	3,0— ∞	3,8; 4,1
A^{III}B^{VI}—A^{IV}B^{VI}			
$\text{Cd}_x\text{Pb}_{1-x}\text{S}$	0—0,058	2,5—4,1	—





РОСАТОМ

Краткая характеристика излучения полупроводникового лазера



Некоторые рабочие характеристики полупроводниковых лазеров

Полупроводник	Длина волны лазера, мкм	Рабочая температура, К	Пороговый ток, А/см ²	Показатель преломления
InP	0,9	77	$3 \cdot 10^3$	3,26
InS	3,1	4,2	10^3	3,42
GaAs	0,84	77	10^3	3,3
GaSb	0,78	12	10^3	3,74
PbTe	6,5	12	10^3	5,75

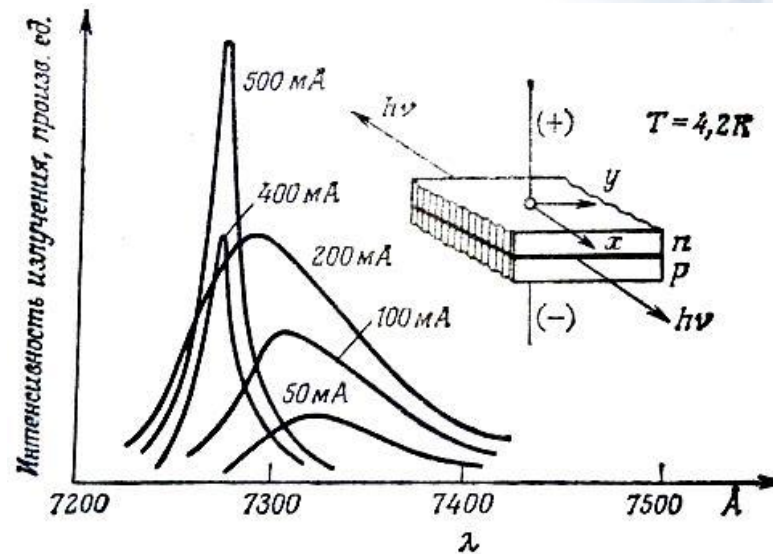


Рисунок 6 Спектр излучения полупроводникового инжекционного





РОСАТОМ

Применение



Важные с практической точки зрения достоинства полупроводниковых лазеров:

1. Экономичность, обеспечиваемая высокой эффективностью преобразования подводимой энергии в энергию когерентного излучения.
2. Малоинерционность, обусловленная короткими характеристическими временами установления режима генерации (10^{-10} — 10^{-9} с).
3. Компактность, обусловленная свойством полупроводников развивать огромное оптическое усиление и поэтому не требовать большой длины активной среды для поддержания режима генерации.
4. Простота устройства, обеспечиваемая рядом факторов: жесткостью монтажа, возможностью низковольтного питания, совместимостью с интегральными схемами полупроводниковой электроники (эти свойства присущи инжекционным лазерам).
5. Перестраиваемость длины волны генерации, обусловленная зависимостью оптических характеристик полупроводника от таких физических величин, как температура, давление, напряженность магнитного поля. Наряду с широким выбором подходящих материалов эта способность к перестройке полупроводникового лазера позволяет непрерывно перекрыть спектральный интервал от 0,32 до 32 мкм. [1]



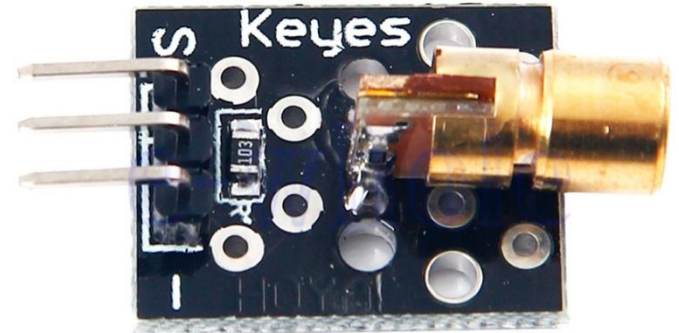


РОСАТОМ



Основные области применения полупроводниковых лазеров

Область применения	Направление разработок	Виды приборов
Передача информации	1. Оперативная оптическая связь	Оптические портативные телефоны
	2. Стационарная многоканальная оптическая связь	Закрытые стекловодяные линии связи для многоканальной телефонии, выносных пультов ЭВМ и т. д.
	3. Дистанционная передача данных, развязка электронных схем	Измерительная аппаратура для высокоскоростных линий; оптроны
Вычислительная техника	1. Обработка информации оптическими методами	Логические лазерные элементы; оптроны; матричные палучатели
	2. Системы оптической памяти	Голографические устройства записи и считывания информации; адресные трубки
	3. Внешние устройства ЭВМ; системы отображения информации	Матричные излучатели; индикаторы; сканирующие лазеры; лазерные проекционные трубки
Локация и автоматика	1. Локация	Светолокаторы; обнаружители препятствий на скоростном транспорте
	2. Дальнометрия	Приборы контроля высоты и дистанции на транспорте; геодезические дальнометры
	3. Специальная автоматика	Автоматическое наведение телекамер; оптические «сторожа» и т. д.
Освещение и телевидение	1. Стробоскопическое освещение	Приборы стробоскопического наблюдения; лазерные лампы-вспышки
	2. Накачка лазеров	Лазерные батареи (палучатели)
	3. Проекционное цветное телевидение	Лазерные телевизионные трубки
Спектроскопия и измерительная техника	1. Спектроскопический анализ	Лазерные спектрометры; перестраиваемые лазеры
	2. Контроль природной среды	Датчики концентрации вредных примесей
	3. Испытание фоторегистрирующей аппаратуры	Импульсные эталонные источники излучения; иммитаторы лазеров различных типов





РОСАТОМ

Заключение

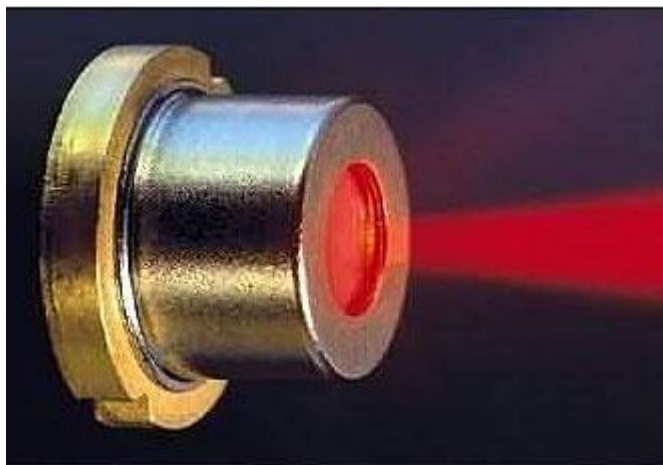


В данном реферате было рассмотрено устройство полупроводникового лазера, принцип его работы, а так же некоторые характеристики и материалы, используемые для создания лазера.

Полупроводниковые лазеры являются фактически самыми эффективными лазерами. В наиболее распространенном варианте полупроводниковый лазер представляет собой кристаллический диод объемом всего в несколько тысячных долей кубической сантиметра, потребляющий энергию батарейки от карманного фонаря.

Чаще всего можно встретить GaAs – лазер с использованием гетеропереходов.

Полупроводниковые лазеры нашли применение во многих областях науки, промышленности и являются неотъемлемой частью нашей жизни.





РОСАТОМ

Список используемой литературы:



1. Богданкевич О. В., Дарзбек С. А., Елисеев П. Г. Полупроводниковые лазеры, монография, Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1976
2. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. Пер. с польск./ Перевод В. Д. Новикова. Под ред. и с предисл. М. Ф. Бухенского. – М.: Мир, 1980. – 540 с., ил. – ИСБН 83-01-00209-3
3. Сироткина А. Г. Введение в физику лазеров. СарФТИ, 2009
4. Svelto O. – Principi del Laser. Перевод с английского под редакцией канд. физ. – мат. наук Т.А. Шмаонова, Мир, 1979



Спасибо за внимание!