



**Исследовательская
работа**

на тему:

***«Солнечное теплоснабжение и горячее
водоснабжение индивидуальных
потребителей»***

Выполнил: Айвазов Р.Ю.

ученик 10кл. гимназии №11

г. Махачкала

Солнечное теплоснабжение и горячее водоснабжение индивидуальных потребителей

Айвазов Руслан Юнусович

Республика Дагестан, г.Махачкала, школа №11, 10 класс

Использование солнечной энергии для отопления и горячего водоснабжения школ, фабрик, больниц, жилых домов и т.д. является одним из наиболее привлекательных способов её применения. Системы горячего водоснабжения на основе плоского солнечного коллектора уже сейчас получили широкое распространение в Израиле и Японии, а на юге США и даже в Европе действуют довольно большие экспериментальные установки для отопления домов и нагрева воды в плавательных бассейнах.

Рис. 1 поможет понять принцип действия солнечного водонагревателя. Находясь в контакте с поглотителем коллектора, вода нагревается и при помощи насоса или естественной циркуляции отводится от него. Затем жидкость поступает в хранилище, откуда её потребляют по мере надобности, или в теплообменник, через который энергия передается теплоносителю.

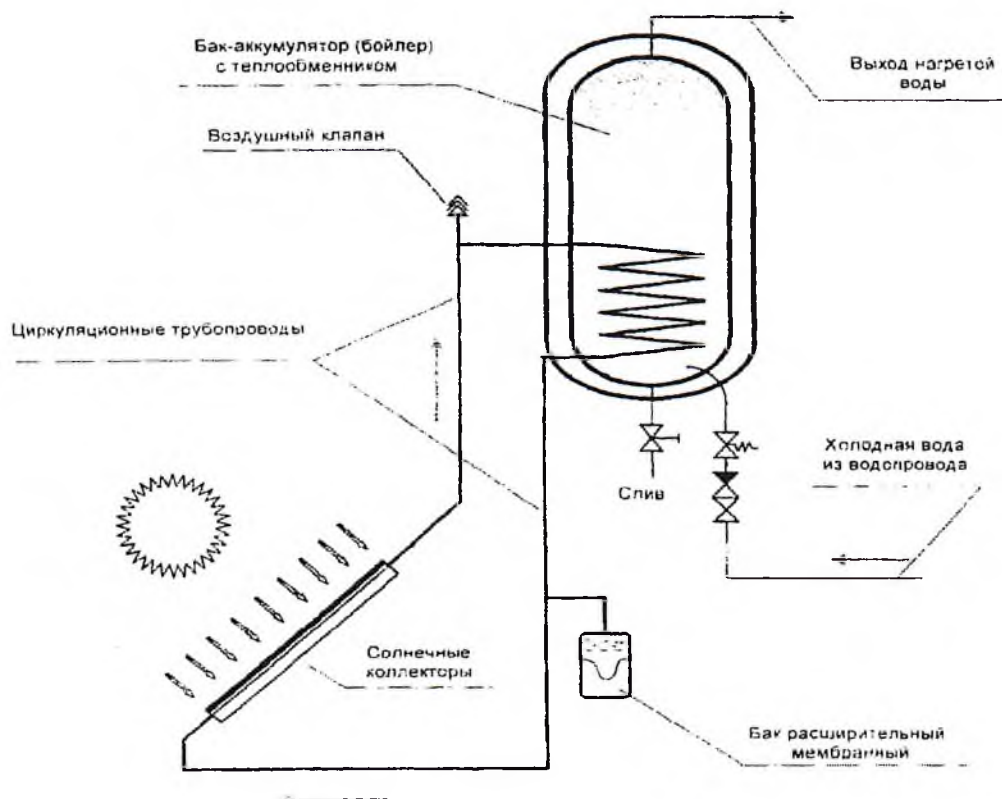


Рис. 1. Простой солнечный водонагреватель с естественной циркуляцией

Полезная мощность такого нагревателя зависит от мощности поступающего на него солнечного излучения (рис. 3), поэтому необходимо, прежде всего, выбрать наилучшую ориентацию коллектора. В принципе любой коллектор с помощью специального механизма можно было бы все время ориентировать на солнце, но это довольно дорогой способ. Поэтому в настоящее время используются неподвижные коллекторы, у которых меняется только угол наклона. Оптимальный угол наклона для наибольшего выхода энергии зависит от широты, например, для Махачкалы составляет 43° .

Помимо характеристик солнечного коллектора, другими важными показателями типичной СВУ (солнечной водонагревательной установки) являются её расчетная производительность по нагреваемой воде (расчетный объем потребляемой нагретой воды в сутки $V_{сут}$), объем бака-аккумулятора $V_{ак}$, режимные показатели (расход воды в контуре СВУ, график разбора воды к потребителю) и некоторые другие.

Типичная установка предусматривает суточную производительность $V_{сут}=100-400$ л/сут. В соответствии с имеющимся опытом этого достаточно для обеспечения умеренных суточных бытовых потребностей 2-3 человек в теплой воде. Увеличение расчетного суточного потребления может быть удовлетворено путем пропорционального увеличения площади солнечных коллекторов и объема бака-аккумулятора (масштабный фактор).

Площадь солнечных коллекторов. Для рассматриваемой СВУ – это параметр, изменяющийся в диапазоне $1-3 \text{ м}^2$. Как правило, в характерных для большинства районов России климатических условиях для нагрева в сутки 100л большей, чем 3 м^2 площади солнечного коллектора не требуется и экономически не обосновано.

Основными достоинствами солнечной энергии являются её доступность и многогранность применения; неисчерпаемость; простота использования солнечных систем теплоснабжения и ГВС (горячего водоснабжения) и возможность использования стандартного оборудования; относительное постоянство во многих районах.

К недостаткам следует отнести рассеянность; периодичность; необходимость применения зачастую дорогих материалов; необходимость аккумуляирования и резервирования вследствие её периодичности.

Солнечный тепловой коллектор включает прозрачную панель, теплопоглощающую панель, набор пластиковых трубок для жидкостного теплоносителя, теплоизоляционный слой.

В коллекторе происходит поглощение солнечного излучения и передача энергии жидкости, т.е. преобразование солнечной энергии в тепло. Самые простые приемники

содержат весь объем жидкости, которую необходимо нагреть. Приемники более сложной конструкции нагревают за определенное время только небольшое количество жидкости, которая, как правило, затем накапливается в отдельном резервуаре (баке-аккумуляторе). От технического совершенства коллектора и стоимости зависит эффективность всей системы солнечного теплоснабжения и её экономические показатели.

Поток лучистой энергии $Q_{нов}$ Вт, поглощаемой поверхностью приемника, составляет

$$Q_{нов} = \tau_{нов} \alpha SI, \quad (1)$$

где $\tau_{нов}$ – коэффициент пропускания солнечного излучения прозрачным покрытием, принимается равным 0,9 для одинарного стеклянного покрытия, 0,80 – для двойного стеклянного покрытия, 0,81 – для селективного стекла; α – коэффициент поглощения приемной поверхностью коллектора солнечного излучения, принимается 0,91 для одинарного стеклянного покрытия, 0,9 для двойного стеклянного покрытия, 0,81 – для селективного стекла; S – площадь освещаемой поверхности коллектора, m^2 , I – облученность поверхности солнечного коллектора, $Вт/m^2$.

В процессе поглощения энергии температура поверхности приёмника повышается и становится существенно выше температуры окружающего воздуха. Это приводит к возникновению обратного потока в окружающую среду, который может определить

$$Q_{ном} = S(T_n - T_{o,c})/R_n \quad (2)$$

где T_n – температура приемной поверхности коллектора, $T_{o,c}$ – температура окружающего воздуха, К; R_n – термическое сопротивление приемной поверхности коллектора, для типичных коллекторов можно принять равным $0,13 m^2 \cdot K/Вт$ для одинарного стекла, $0,22 m^2 \cdot K/Вт$ – для двухслойного стекла, $0,4 m^2 \cdot K/Вт$ – для селективного стекла.

Уравнение солнечного коллектора тогда можно представить

$$Q_{ск} = S[\tau_{нов} \alpha I - (T_n - T_{o,c})/R_n]. \quad (3)$$

Однако не вся энергия, получаемая коллектором, передается воде, а только её часть, характеризуемая коэффициентом перехода k_f солнечной энергии, показывающим долю теплового потока $Q_{ск}$, передаваемого жидкости, принимается равным 0,85

$$Q_{жс} = k_f Q_{ск}. \quad (4)$$

Количество же тепла, требуемого для нагрева жидкости на определенную разницу температур $Q_{жс}$. Вт можно записать в виде

$$Q_{жс} = L\rho c(T_k - T_n), \quad (5)$$

где T_k – конечная температура воды, К; T_n – начальная температура воды, К; ρ – плотность воды, равная $1000 кг/m^3$; c – теплоемкость воды, равная $4200 Дж/кгК$; L – объемный расход воды, m^3/c .

Уравнение теплового баланса коллектора можно записать в виде

$$k_f S [\tau_{нов} \alpha J - (T_n - T_{o.c}) / R_n] = L \rho c (T_k - T_n). \quad (6)$$

Из уравнения баланса солнечного коллектора определяются все основные характеристики, используя данные метеоцентра Махачкалы (Таблица 1-3) и допуская, что $k_f = 0,85$, площадь плоского пластинчатого коллектора $S = 2 \cdot 0,8 \text{ м}^2$, сопротивление $R_n = 0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, температура приемной поверхности коллектора T_n увеличивается на 20°С , температура окружающего воздуха $T_{o.c} = 12^\circ\text{С}$, коэффициент пропускания солнечного излучения прозрачным покрытием $\tau_{нов} = 0,9$ для одинарного стеклянного покрытия, коэффициент поглощения приемной поверхностью коллектора солнечного излучения $\alpha = 0,9$ для одинарного стеклянного покрытия, облученность поверхности солнечного коллектора $83 \text{ МДж}/\text{м}^2$ ($960 \text{ Вт}/\text{м}^2$; ноябрь), начальная температура воды $T_n = 20^\circ\text{С}$, плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, теплоемкость воды $c = 4200 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$.

Из формулы (6) находим зависимость температуры воды на выходе T_k :

а) от площади коллектора, S ($T_k = 6,25 \cdot S + 20$);

б) от температуры входящей воды, T_n ($T_k = T_n + 10$);

в) от температуры окружающего воздуха, $T_{o.c}$ ($T_k = 0,18 \cdot T_{o.c} + 28,1$);

г) от интенсивности солнечной радиации, J ($T_k = 0,02 \cdot J + 16,3$).

Полученные результаты представлены в таблице 1 и графически на рис. 1-4.

Среднее за месяц (ноябрь) значение суммарной солнечной радиации на широте 43° , поступающей в сутки на 2 коллектора ($1,6 \cdot 2 = 3,2 \text{ м}^2$) горизонтальной поверхности составляет

$$Q_{\text{сут}} = k_f \cdot 2 \cdot S \cdot \left(\tau \cdot \alpha \cdot J - \frac{T_n - T_{o.c}}{R_n} \right) \cdot 24$$

$$Q_{\text{сут}} = 0,85 \cdot 2 \cdot 1,6 \cdot \left(0,9 \cdot 0,9 \cdot \frac{83 \cdot 10^6}{24 \cdot 3600} - \frac{20}{0,13} \right) \cdot 24 = 2,72 \cdot (778 - 154) \cdot 24 = 40,7 \text{ кВтч}$$

Это соответствует затратам энергии на отопление дома площадью 40 м^2 .

Водонагреватель предназначен для снабжения горячей водой индивидуальных хозяйств. Устройство состоит из коллектора, бака холодной воды, бака аккумулятора и труб. Коллектор стационарно устанавливается под углом $30-45^\circ$ с ориентировкой на южную сторону. Холодная, более тяжелая, вода постоянно поступает в нижнюю часть коллектора, там она нагревается и вытесненная холодной водой, поступает в бак-аккумулятор. Она может быть использована для отопления, для душа либо для других бытовых нужд. Дневная производительность на широте 43° примерно равна 2 кВтч с квадратного метра. Температура воды в баке-аккумуляторе достигает $60-70^\circ$.

НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ

“ШАГ В БУДУЩЕЕ”

**ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОГО ДАВЛЕНИЯ НА
ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ КРИСТАЛЛОВ ZnS**

Работа выполнена:

учениками 11 класса МОУ гимназии № 11
Юсуповой Юлдуз
Гамзаевым Абдурахманом

Научный руководитель:

Старший научный сотрудник
Института физики ДНЦ РАН,
кандидат физ.- мат. наук
Абдуллаев А.А.

МАХАЧКАЛА – 2007 г.

А Н Н О Т А Ц И Я
ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ
КРИСТАЛЛОВ ZnS

Авторы:

**Юсупова Юлдуз
Гамзаев Абдурахман**

**Россия, Республика Дагестан,
г. Махачкала, МОУ гимназии № 11, 11 класс**

С целью установления пространственной ориентации светоизлучающих диполей (донорно-акцепторных пар), обуславливающих «зеленую» ($\lambda_{\max} \cong 520$ нм) полосу излучения в ZnS, исследована фотолюминесценция монокристаллов с гексагональной структурой. Установлено, что одноосное давление порядка 10 МПа вызывает спектральные сдвиги полос фотолюминесценции. Величина сдвигов составляет $\Delta h\nu \cong 0.02$ эВ. Направление сдвига в «красную» или «фиолетовую» область спектра определяется направлением силы давления относительно кристаллографической оси С.

Исследования фотолюминесценции при наложении на кристаллы одноосного давления позволяют выявить пространственную ориентацию в кристалле светоизлучающих диполей.

ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ КРИСТАЛЛОВ ZnS

Авторы:

Юсупова Юлдуз

Гамзаев Абдурахман

Россия, Республика Дагестан,

г. Махачкала, МОУ гимназии № 11, 11 класс

ВВЕДЕНИЕ

Техническая революция 20-го столетия базировалась на достижениях физики полупроводников. На смену газоразрядным и вакуумным электронным приборам пришли полупроводниковые диоды, триоды, фотоэлектрические преобразователи энергии, лазеры. В настоящее время развивается новое научное направление физики полупроводников – полупроводниковая оптоэлектроника, направленная на решение задач формирования, передачи, обработки и хранения информации на основе использования оптических и электрических сигналов. Одним из основных элементов оптоэлектроники являются полупроводниковые источники света – люминофоры. В связи с этим не ослабевают интерес к широкозонным соединениям типа ZnS, ZnSe, ZnO обладающих уникальными люминесцентными свойствами, и нашедших практическое применение при изготовлении катодолуминофоров для электронно-лучевых трубок (кинескопов).

На формирование основных технических характеристик люминофора (спектральный состав излучения, эффективность преобразования энергии, длительность послесвечения) оказывает влияние энергетическая структура люминофора: существование в нём нескольких сортов центров люминесценции, электронных ловушек и центров тушения, образованных специально вводимыми или неконтролируемыми примесями, а также структурными дефектами [1,2]. Поэтому, чтобы устройства, в которых применяют люминофоры, удовлетворяли техническим требованиям, должна строго соблюдаться технология синтеза люминофора и контролироваться его дефектно-примесный состав. В настоящее время установлено, что люминесцентные свойства полупроводников типа ZnS, ZnSe, ZnO в значительной мере определяется эффектами межпримесного взаимодействия, которое проявляется при образовании донорно-акцепторных пар (ДАП) [3]. Поэтому исследования направленные на установление физико-химической природы и структуры ассоциированных центров излучательной рекомбинации в соединениях ZnS, ZnSe, ZnO носят **актуальный характер.**

Цель работы – установление пространственной ориентации светоизлучающих диполей (донорно-акцепторных пар), обуславливающих «зеленую» полосу фотолюминесценции в кристаллах ZnS с гексагональной структурой.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследовались спектры фотолюминесценции в самоактивированных кристаллах ZnS;
- проводился анализ спектрального распределения фотолюминесценции в образцах подвергшихся воздействию одноосного давления;
- сравнением теоретических данных и экспериментальных спектров фотолюминесценции доказывается справедливость предлагаемых моделей генерационно-рекомбинационных процессов с участием пространственно ориентированных диполей;

Работа выполнена на экспериментальной базе Аналитического центра коллективного пользования Института физики Дагестанского научного центра РАН.

МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Кристаллы ZnS имели гексагональную структуру и обладали удельным сопротивлением $\rho \approx 10^8 - 10^{10}$ Ом см ($T=295$ К). Образцы вырезались из крупных монокристаллов в виде прямоугольных параллелепипедов и имели размер ребер 2 x 3 x 6 миллиметров. Кристаллографическая ось С располагалась параллельно наибольшей грани образца.

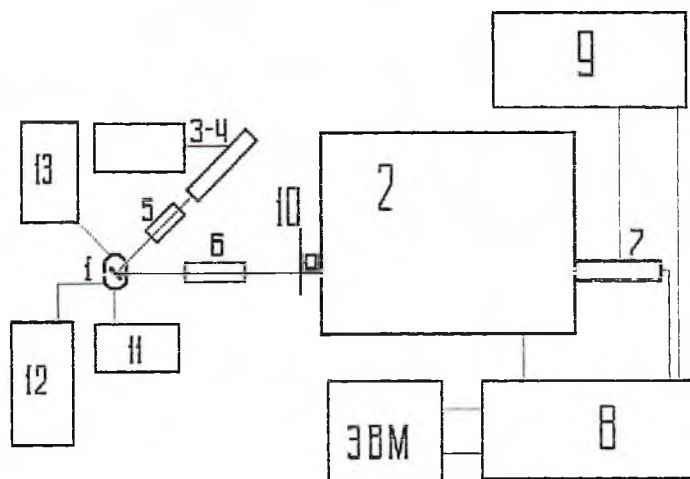


Рис. 1 Блок - схема экспериментальной установки для исследования фотолюминесценции, собранной на базе спектрально-вычислительного комплекса КСВУ-2: 1 - образец в криостате, 2 - монохроматор МДР -23, 3-4 блок питания источника фотовозбуждения, 5-6- блоки оптических фильтров с конденсаторами, 7 - ФЭУ, 8 - блок управления и регистрации сигнала, 9 - усилитель (UNIPAN 232B), 10 - модулятор, 11-блок регистрации температуры, 12 -блок электропитания образца, 13 - вакуумный пост.

Исследования люминесцентных свойств монокристаллов проводились на установке, собранной на базе спектрально-вычислительные комплексы КСВУ-23 (рис. 1).

Главным элементом оптической системы этой установки является монохроматор МДР-23 (2). В зависимости от спектрального диапазона измерений используются дифракционные решетки 1200, 600 и 300 штр. на мм.

Возбуждение образца (при регистрации спектров ФЛ), помещенного в криостат (1) и закрепленного на хладопроводе, осуществляется светом лампы ДРШ-250 или лазера ЛГИ-21 (3-4). Излучение образца модулируется механическим модулятором (10) и фокусируется (6) на входную щель монохроматора МДР-23 (2). В качестве детектора излучения используются фотоумножители (7) типа ФЭУ-100 (спектральный диапазон чувствительности 200-700 нм) и ФЭУ-62 (спектральный диапазон чувствительности 600-1200 нм), сигнал с которых для усиления подается на вход селективного нановольтметра Unipan-232 В (9), а затем на вход блока управления и регистрации (8) включающий и ЭВМ.

При измерении спектрального распределения люминесценции за величину интенсивности излучения люминофора принимается отношение

$$I_{\text{фл}} = (I_{\text{фл}} - I_0) / J_{\text{фл}} \quad \text{или} \quad U_{\text{фл}} = (U_{\text{фл}} - U_0) / J_{\text{фл}},$$

где $I_0 (U_0)$ - темновое значение тока (напряжения) на ФЭУ, $I_{\text{фл}} (U_{\text{фл}})$ - значение фототока или фотонапряжения при попадании излучения люминофора на ФЭУ, $J_{\text{фл}}$ - спектральная чувствительность приемника излучения.

В случае межцентрового механизма излучательной рекомбинации максимуму полосы люминесцентного излучения определяет энергетический зазор между уровнями донора и акцептора.

Охлаждение образца производится с помощью хладоагента (жидкий азот) путем заливки его в стакан криостата (1). Для нагрева образца используется электрический нагреватель. Температура фиксируется медь-константановой термопарой.

Для проведения исследований фотолюминесценции монокристаллов в условиях одноосного давления используется специальная приставка (рис. 2). Образец (7) помещается между наковальней (5) и рабочим поршнем в виде металлического стержня (3). Давление на кристалла создается путем нагружения подвижного поршня (1) калиброванными свинцовыми дисками массой 0.5 кг. Данная конструкция позволяет достичь давления, оказываемого на образец порядка 10^6 Па.

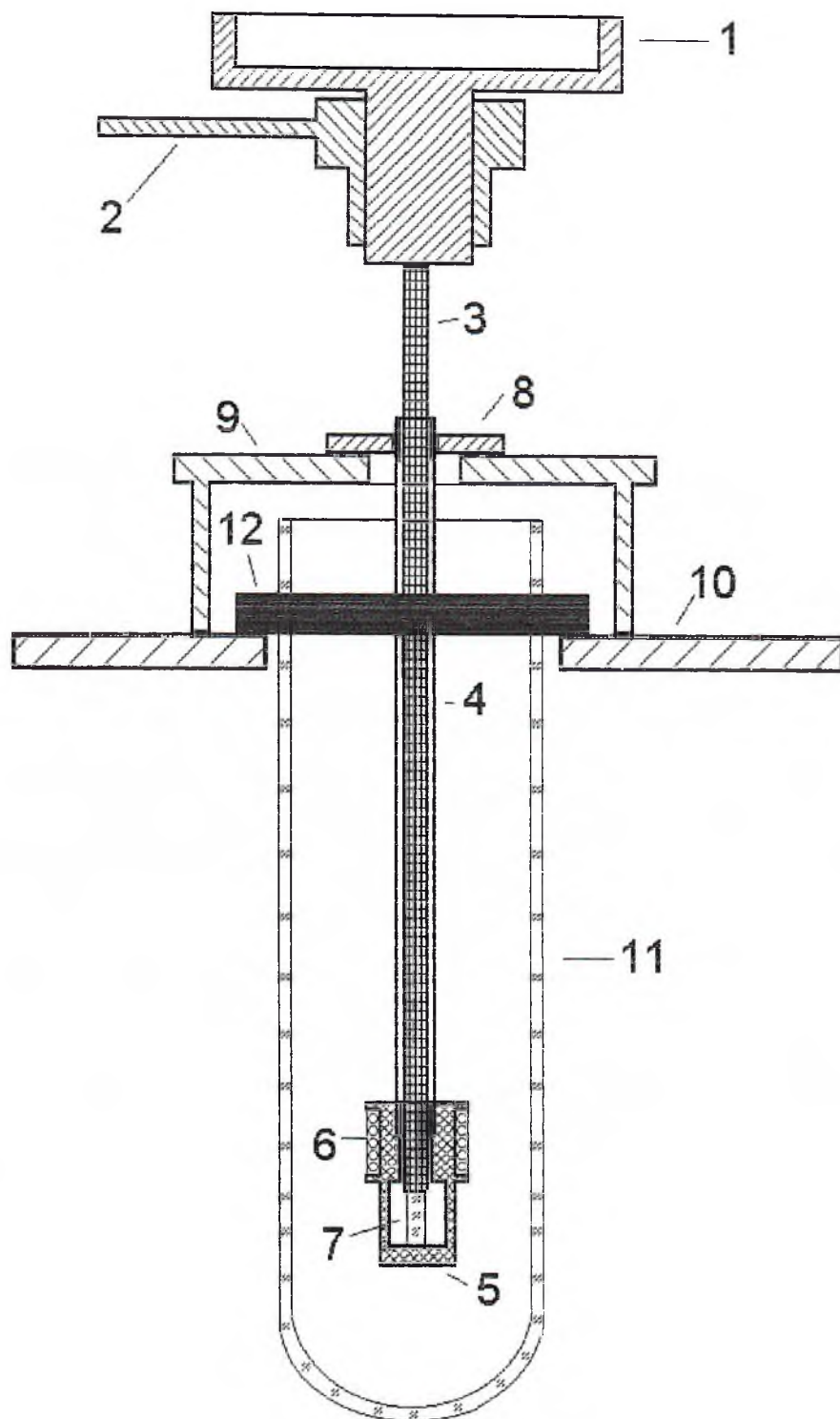


Рис. 2. Приставка одноосного давления.

1 – Подвижный поршень с нагрузкой; 2 – втулка с держателем; 3 – рабочий поршень; 4 – направляющий цилиндр; 5 – наковальня; 6 – печь сопротивления; 7 – образец; 8 – опорная гайка; 9 – опорный столик; 10 – крышка ювешной камеры; 11 – стеклянный криостат; 12 – держатель криостата.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Спектр фотолюминесценции монокристаллов ZnS в отсутствие давления при низких и комнатных температурах представлен на рис. 3. Максимум спектра излучения приходится на длину волны $\lambda \approx 520$ нм (зеленый цвет). При переходе от комнатных к низким ($T=140$ К) температурам наблюдается сдвиг спектра излучения в коротковолновую часть спектра, что связано с изменением ширины запрещенной зоны кристаллофосфора.

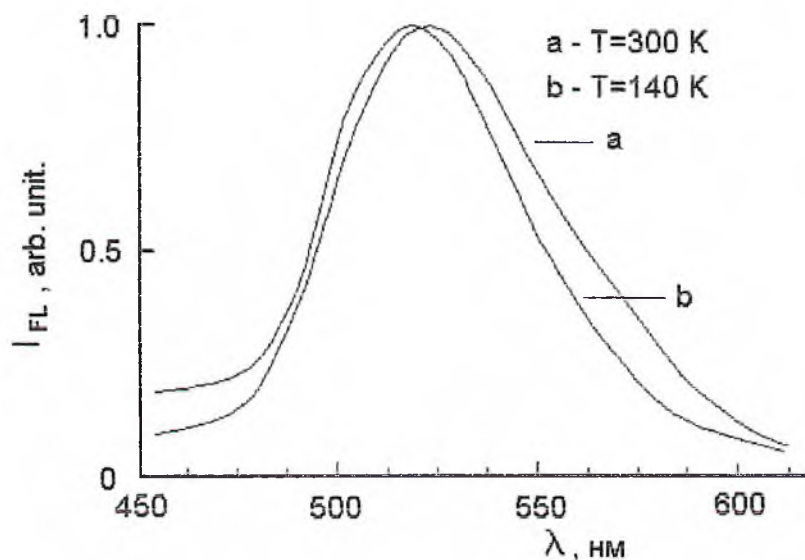


Рис. 3. Спектры фотолюминесценции монокристаллов ZnS без давления.

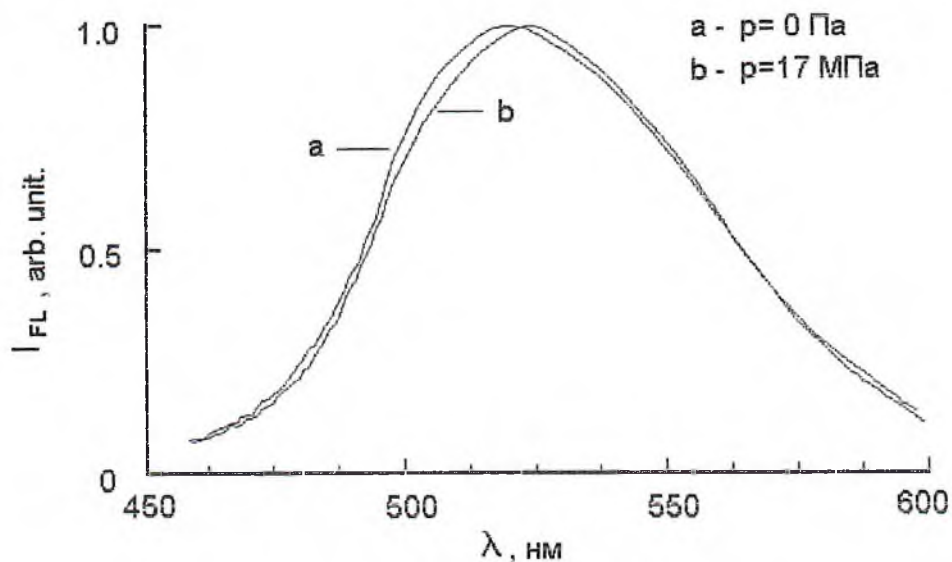


Рис. 4. Спектры фотолюминесценции монокристаллов ZnS без (кривая a) и при давлении $p=17$ МПа. Давление оказывалось вдоль оси С.

При приложении давления ($p = 10^5 - 10^6$ Па) вдоль оси C наблюдается сдвиг спектральной полосы фотолюминесценции (ФЛ) в длинноволновую область спектра (рис. 4). Величина сдвига равна $\Delta h\nu \cong 0.02$ эВ.

При смене направления давления на перпендикулярное оси C , спектральная полоса ФЛ смещается в коротковолновую часть спектра (рис. 5). Величина $\Delta h\nu$ не изменяется.

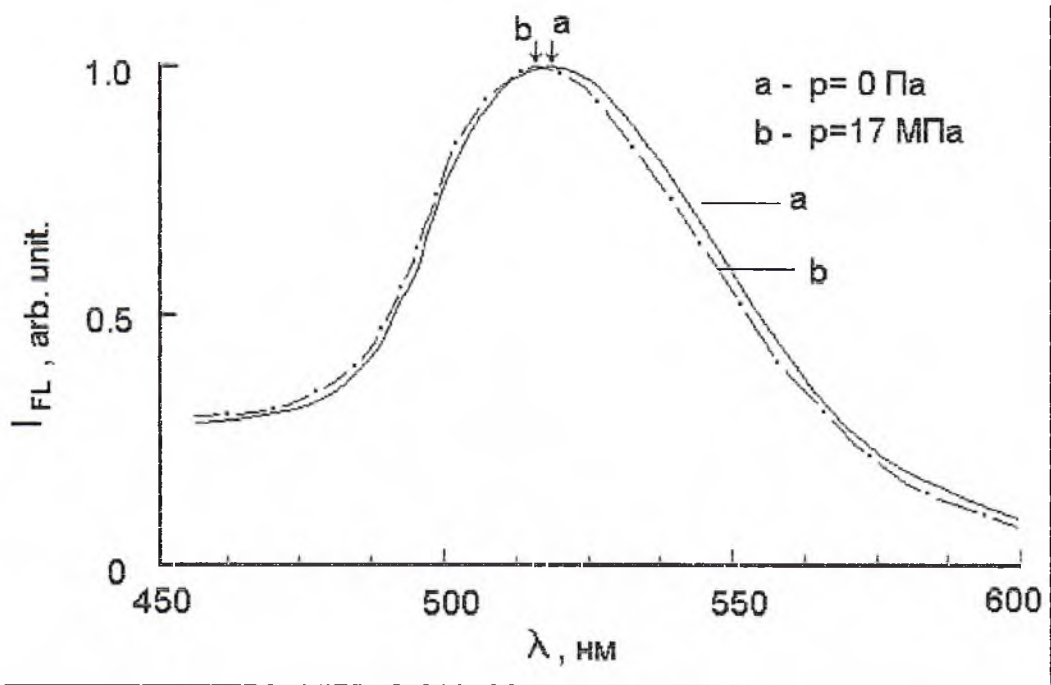


Рис. 5. Спектры фотолюминесценции монокристаллов ZnS без (кривая a) и при давлении $p=17$ МПа. Давление оказывалось перпендикулярно оси C .

Во всех экспериментах интенсивность ФЛ меняется незначительно.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Ранее [4] проведенные исследования природы «зеленой» полосы излучения в самоактивированных кристаллах ZnS показали, что она связана с светоизлучающими диполями (ДАП). Энергия фотона, излучаемого при переходе электрона с донора на акцептор (переходы 1 – 5 на рис. 6), определяется выражением $h\nu_i = E_g - (E_D + E_A) + \Delta E_Q$ [3]. Здесь E_g – ширина запрещенной зоны, E_D и E_A – энергия ионизации изолированного донора и акцептора, соответственно, $\Delta E_Q = e^2 / (\epsilon \cdot r_m)$ – энергия кулоновского взаимодействия между D^+ - и A^- -центрами. В формуле для ΔE_Q – e – заряд электрона, ϵ – диэлектрическая проницаемость материала, r_m – межатомное расстояние между дефектами в ассоциате. Так как точечные дефекты занимают в решетке вполне определенные места, то величины r_m , ΔE_Q и $h\nu_i$ принимают дискретный ряд значений. Однако в соединениях A_2B_6 , в силу сильного

электрон-фононного взаимодействия спектры излучения распределенных по r_m ДАП представляют собой широкие полосы со слабо выраженной структурой. О принадлежности таких полос к ДАП судят по спектральным сдвигам коротковолнового края или максимума полосы в зависимости от уровня возбуждения люминесценции, температуры и времени после высвечивания.

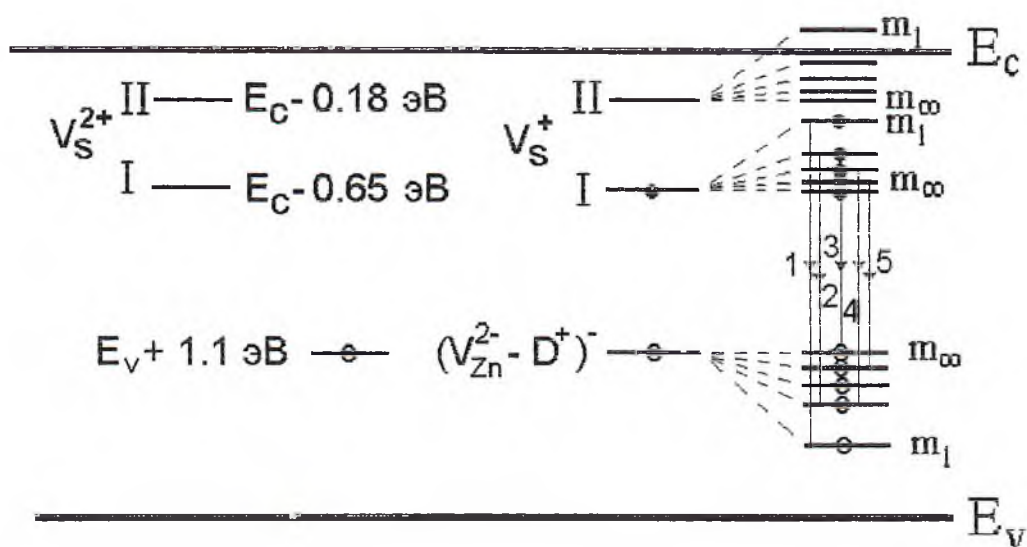


Рис. 6. Энергетическая схема кристаллофосфора ZnS. Стрелками показаны электронно-дырочные переходы между донором и акцептором в ДАП, приводящие к «зеленому» излучению.

Нами предполагается, что наличие спектральных сдвигов полосы фотолюминесценции при одноосном давлении связано с изменением межатомного расстояния r_m между D^+ - и A^- - центрами. Наличие «красного» сдвига полосы при давлении вдоль оси С и «фиолетового» сдвига при давлении направленном перпендикулярно оси С свидетельствует о том, что D^+ - и A^- - центры располагаются в анионных и катионных узлах решетки лежащих в основании гексагона (рис. 7).

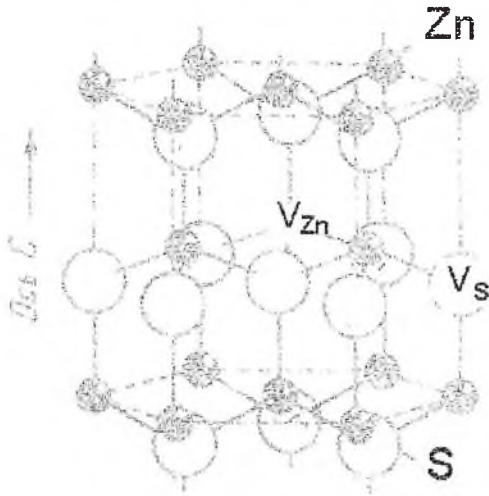


Рис. 7. Кристаллическая структура ZnS

ВЫВОДЫ

1. Наличие спектральных сдвигов полос фотолюминесценции кристаллов ZnS в зависимости от величины и направления одноосного давления является результатом ассоциированного характера центров излучательной рекомбинации ответственных за «зеленое» свечение.
2. Направление спектральных сдвигов полос фотолюминесценции определяется направлением силы давления и кристаллографической ориентацией кристалла.
3. Исследования фотолюминесценции при наложении на кристаллы одноосного давления позволяют выявить пространственную ориентацию в кристалле светоизлучающих диполей.

Л и т е р а т у р а

1. Гурвич А.М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. // М.: "Высшая школа".- 1971. - 336 С.
2. Физика соединений A^2B^6 // (Под редакцией Георгобиани А.Н., Шейнкмана М.К.).- М.: "Наука".- 1986. - 320 С.
3. Лашкарев В.Е., Любченко А.В., Шейнкман М.К. Неравновесные процессы в фотопроводниках. // Киев: изд-во "Наукова Думка".-1981. -264 С.
4. – Хамидов М.М., Зобов Е.М., Зобов М.Е. Самоактивированная люминесценция и ее связь с центрами прилипания в сульфиде цинка. // Известия ВУЗов Северо-Кавказского региона. Серия естественные науки.- 2006.- № 9.- С. 43-50.

О Т З Ы В

на научно-исследовательскую работу учеников МОУ гимназии № 11 Ю.Юсуповой и А. Гамзаева «ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ КРИСТАЛЛОВ ZnS»

В настоящее время полупроводники и люминофоры на их основе нашли широкое применение в различных областях науки и техники. На формирование их оптических и кинетических характеристик оказывают влияние различного рода примеси и структурные дефекты, играющие роль электронных ловушек и центров рекомбинации

Работа Юсуповой Ю. и Гамзаева А. посвящена исследованию фотолюминесцентных свойств монокристаллов ZnS и преследует цель - определение пространственной ориентации ассоциированных дефектов, играющих роль центров излучательной рекомбинации в этом люминофоре, отражает задачи, решаемые полупроводниковой оптоэлектроникой, и поэтому является актуальной.

Для решения, поставленной в работе задачи, авторы провели исследования спектров фотолюминесценции кристаллов ZnS в спектральном диапазоне $\lambda \cong 400 - 700$ нм при приложении к ним одноосного давления в интервале значений $0 - 17$ МПа. Выявлена анизотропия спектральных сдвигов «зеленой» $\lambda_{\max} \cong 520$ нм полосы излучения при вариации направления одноосного давления, что, по мнению авторов, связано с пространственной ориентацией в кристаллической решетке ассоциированных центров излучательной рекомбинации.

Работа оформлена грамотно, а ее содержание показывает, что авторы достаточной мере отразили современное состояние полупроводниковой оптоэлектроники, владеют литературным материалом, способны сформулировать выводы и проблемы в данной области науки.

Результаты экспериментальных исследований, полученные авторами, отличаются оригинальностью, научной достоверностью, а их интерпретация позволяет сделать однозначные выводы.

8 ноября 2007 г.

Заведующий лабораторией ОЯКС ИФ ДНЦ РАН,

Доктор физ.-мат. наук

Бабаев А.А.

А. Бабаев
Подпись г. д. м. н. Бабаева А.А. заверено.
Уполномоченный секретарь института физики
ДНЦ РАН *В.И. Мирская*

