

Российская академия наук
Институт общей и неорганической химии
им. Н. С. Курнакова

На правах рукописи

Жалилов Надирджон Сайфутдинович

олучение и свойства тонких пленок
полупроводниковых соединений $A_3^{\text{II}}B_2^{\text{V}}$

(02, 00, 04—физическая химия)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Москва—1993

Российская академия наук
Институт общей и неорганической химии
им. Н.С.Курнакова

На правах рукописи

ЖАЛИЛОВ НАДИРДЖОН САИФУТДИНОВИЧ

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИИ $A_3B_2^{IV}$

(02.00.04 - Физическая химия)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

Работа выполнена в Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН.

Научный руководитель: доктор химических наук *С.Ф. Маренкин*.

Официальные оппоненты: доктор химических наук *В.И. Патоков*;
доктор технических наук *А.М. Долгачев*.

Ведущая организация: Воронежский Государственный университет

Защита состоится 25 февраля 1993 г.

в 10 часов на заседании Специализированного Совета
К 002.37.02 по химии и технологии неорганических веществ
по присуждению ученой степени кандидата химических наук
при Институте общей и неорганической химии им. Н.С. Кур-
накова РАН (117907, Москва, Ленинский проспект, 31).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОХН РАН
по адресу: Москва, Ленинский проспект, 31.

Автореферат разослан 22 января 1993 г.

Ученый секретарь

Специализированного Совета
кандидат химических наук



Э.Г. ЛУКОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Основой дальнейшего развития электроники является миниатюризация полупроводниковых приборов и элементов электронных устройств, которая может быть достигнута только при тонком слоевом изготовлении.

Для получения тонких пленок новых полупроводниковых соединений представляется важным знание их фазово-химических свойств, особенно диаграмм состояний. К числу таких соединений можно отнести полупроводники группы A_{2-3}^{II-V} , в частности, соединения с соотношением компонентов 3 : 2 : Zn_3P_2 , Cd_3P_2 , Zn_3As_2 и Cd_3As_2 . В $P-T-X$ диаграммы состояния систем, в которых они образуются, к настоящему времени достаточно изучены [1].

Данные о фазовом состоянии соединений группы A_{2-3}^{II-V} в настоящее время являются недостаточными для выбора оптимальных условий синтеза тонких пленок в качестве материалов для изготовления элементов и устройств микроэлектронной техники. К области синтеза тонких пленок соединений группы A_{2-3}^{II-V} в полупроводниковых устройствах на основе полупроводников группы A_{2-3}^{II-V} . Однако, получение этих соединений в виде тонких пленок значительно расширило бы возможности их применения. Так, например, Cd_3As_2 - в качестве материалов для датчиков Холла, Zn_3P_2 - в качестве активного элемента преобразователей света.

Получение пленок соединений A_{2-3}^{II-V} (в основном Cd_3As_2 и Zn_3P_2) началось в середине 70-х годов и носило лишь фрагментарный характер. Поэтому, представлялось актуальным получение пленок и исследование влияния условий технологического процесса на их состав и свойства, проведение выбора рационального метода и оптимальных технологических условий получения соединений Zn_3P_2 , Cd_3P_2 , Zn_3As_2 и Cd_3As_2 в виде тонких пленок, пригодных

для использования в электронном приборостроении.

Целью работы являлось получение аморфных и кристаллических пленок соединений Zn_3P_2 , Cd_3P_2 , Zn_3As_2 и Cd_3As_2 на диэлектрических подложках; изучение их электрофизических и оптических свойств; определение возможного практического использования пленок Zn_3P_2 в качестве материала для солнечного элемента и пленок Cd_3As_2 - для датчиков магнитного поля. Для этого необходимо было решить следующие задачи: осуществить очистку исходных компонентов и синтезировать исходную шихту в виде монокристаллов соединений Zn_3P_2 , Cd_3P_2 , Zn_3As_2 и Cd_3As_2 ; разработать технологическую схему получения пленок соединений $A_3B_2^{IV}$; провести выбор подложки, позволяющей получать пленки без механических напряжений и преимущественно ориентированные; изучить влияние структуры подложки на процесс роста пленки; разработать устройства, позволяющие проводить процесс испарения соединений, включающих легколетучие компоненты; изучить в широком интервале температур электрофизические и оптические свойства пленок; изучить влияние технологических условий испарения на состав, структуру и свойства пленок; установить оптимальные условия получения ориентированных пленок; изготовить макеты некоторых приборов для электронной техники на основе пленок соединений $A_3B_2^{IV}$.

Научная новизна. Методом вакуумного термического испарения получены аморфные и кристаллические пленки полупроводниковых соединений Zn_3P_2 , Cd_3P_2 , Zn_3As_2 и Cd_3As_2 , из них Cd_3P_2 и Zn_3As_2 - впервые. Показано, что основными технологическими факторами, определяющими структуру пленок являются температура и структура подложки. Установлено, что для пленок Zn_3P_2 переход от аморфного к кристаллическому состоянию наблюдается при температурах подложки 150 - 230°C, для пленок Cd_3P_2 при 80 - 120°C, для пленок Zn_3As_2 при

) - 200°C и для пленок Cd_3As_2 при 80 - 140°C. Дальнейшее увеличение температуры подложки приводило к повышению структурного совершенства кристаллических пленок. При этом для пленок Zn_3P_2 Md_3P_2 определяющим было направление [004], для пленок Zn_3As_2 Md_3As_2 направление [224]. Изучены электрические и оптические свойства пленок; получена фотолюминесценция на монокристаллах и пленках Zn_3As_2 при 4,2 К с максимумом полосы 1,078 эВ и полушириной 13 мэВ.

Практическая ценность работы. Установлены оптимальные технологические условия, позволяющие получать ориентированные кристаллические пленки соединений Zn_3P_2 , Cd_3P_2 , Zn_3As_2 и Cd_3As_2 с электрическими и оптическими свойствами, приближающимися к свойствам их монокристаллов. Это позволило изготовить на основе пленок Cd_3As_2 датчик магнитного поля, обладающий высокой линейностью в диапазоне до 10 кГс со следующими параметрами: размер $4 \times 2 \times 0,5$ мм³, $\gamma = 0,3$ В/А кГс, $\alpha = 0,3$ %, на базе пленок Zn_3P_2 готовить диод Шоттки с к.п.д. ~1%.

Публикации. Материалы диссертации изложены в 9 публикациях. Список публикаций приведен в конце автореферата.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены на VII и VIII всесоюзных координационных совещаниях "Материаловедение полупроводниковых соединений группы A^{III}V" (Воронеж, 1987г., Черновик, 90г.), на II Всесоюзной конференции молодых ученых и специалистов (Ужгород, 1989г.), на Всесоюзной конференции "Фосфаты и фосфорсодержащие сплавы" (Алма-ата, 1990г.), на конференции по физико-химическому анализу (Саратов, 1991г.), на ежегодной научной конференции сотрудников ИОНХ РАН (1992г.).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и списка литературы. Работа изложена на 129 страницах.

содержит 63 рисунков и 20 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 129 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность пленочной технологии выбора соединений $A_3B_2^{IV}$ в качестве объектов исследования, определены цели и показаны возможности практического использования результатов работы.

В первой главе проведен анализ литературных данных по диаграммам состояния системы $A^{IV}B^V$, термодинамическим, кристаллохимическим и физическим свойствам соединений Zn_3P_2 , Cd_3P_2 , Zn_3As_2 , Cd_3As_2 . Рассмотрены данные по электрофизическим, оптическим свойствам этих соединений, а также по методам получения пленок соединений $A_3B_2^{IV}$.

Вторая глава посвящена описанию методик исследования. Исследование пленок $A_3B_2^{IV}$ проводили комплексом методов физико-химического анализа (рентгенофазового (РФА), рентгеноструктурного химического и микроструктурного анализов) и изучением их электрических и оптических свойств.

Рентгенофазовый анализ проводили по методу Дебая - Шерера на рентгеновском дифрактометре ДРОН-1.

Изучение структуры пленок осуществляли на установке ДРОН-3 с помощью методов Лауэ и Берга - Баррата, а также на основе микроструктурных исследований, которые проводили на оптическом структурном микроанализаторе "ЕРИQUANT".

Химический состав полученных пленок, их однородность и отклонение от стехиометрии определяли методами атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре "PERKIN-ELMER - 303" (точность определения состава $\pm 0,2$ ат.%), а также электронно-зондового микроанализа на установке "САМЕХАХ" (точность определения $\pm 1-2$

(СС.С).

Измерения толщин пленок выполняли с помощью метода интерференционных колец на монохроматическом свете (1000 - 10000 Å) с помощью прибора (187) и триастрометрическим методом с помощью прибора (188).

Изучение физико-химических свойств пленок Sb_3P_2 , Zn_3As_2 и Sb_2As_3 проводили с помощью потенциометрического метода в "замкнутой" цепи в электрических и магнитных полях в интервале 77-300 К. Проводимость высокоомных образцов оценивали с помощью термометра. Электрические свойства высокоомных пленок измеряли совместно сотрудниками кафедры полупроводников физического факультета У.

Синтез пленок проводили с помощью метода термического испарения в вакууме. Температуру испарения определяли по данным литературы по физико-химическим свойствам веществ. Температуру конденсации определяли по данным литературы по следующему уравнению [2,3]:

$$\begin{aligned} A_3^{\text{II}}V_2^{\text{IV}}(\text{тв.}) &\rightleftharpoons 3A^{\text{II}}(\text{г}) + 1/2B_4^{\text{V}}(\text{г}) \\ V_4^{\text{IV}}(\text{г}) &\rightleftharpoons 2B_2^{\text{V}}(\text{г}) \end{aligned}$$

Температуру конденсации определяли по данным литературы по следующему уравнению [2,3]:
Термическое испарение. Преимуществом данного метода является его широкое применение для создания тонких металлических пленок и, как следствие, наличие технологического оборудования. Метод сравнительно прост и экономичен.

Пленки соединений $A_3^{II}V_2$ получали на универсальных вакуумных установках ВУП- 4 и ВУП- 5 по технологической схеме, представленной на рис.1. Основными технологическими процессами были: получение исходной шихты, подготовка подложек, вакуумное испарение и контрольно - измерительные операции.

Процесс получения исходной шихты включал в себя дополнительную очистку исходных компонентов (Zn, Cd, P, As), синтез и рост

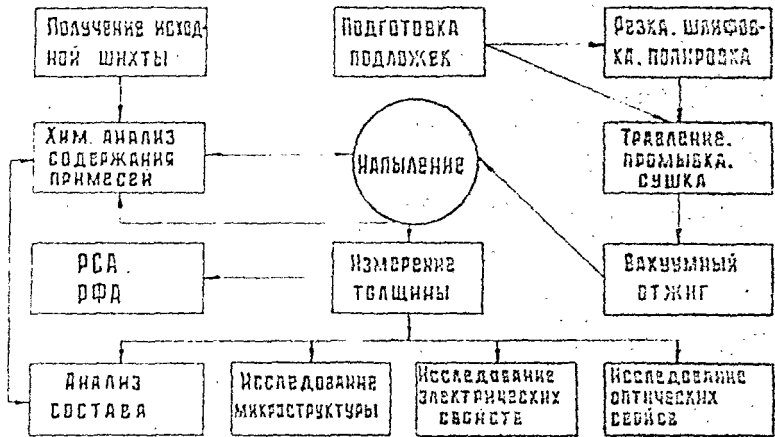


Рис.1. Технологическая схема получения пленок полупроводниковых соединений $A_3^{II}V_2$.

монокристаллов $A_3^{II}V_2$. При этом Zn и Cd дополнительно очищали методами зонной плавки и вакуумно-капельной фильтрации, P и As - методом вакуумной пересублимации. Общее содержание примесей в исходных реактивах согласно данным масс-спектрометрического анализа не превышало 10^{-5} масс.%. Соединения синтезировали прямым

плавлением исходных компонентов, взятых в стехиометрическом соотношении, в вертикальной синтетической печи. Монокристаллы выращивали из газовой фазы методом вакуумной пересублимации в горизонтальной двухзонной печи. В табл. 1 представлены температурно - временные режимы получения монокристаллов соединений $A_3B_2^{IV}$, которые использовались в качестве исходной шихты без дополнительных подготовительных операций. Приведенные температурно - временные режимы обеспечивали высокую степень чистоты и определенный гранулометрический состав шихты для получения пленок.

Таблица 1. Температурно - временные режимы получения исходной шихты

Соединение	Время, час.	Температура зоны испарения, °С	Температура зоны роста, °С	Градиент, °С/см
Zn_3P_2	72	740 - 775	680 - 700	10 - 15
Cd_3P_2	24	570 - 585	470 - 485	5 - 7
Zn_3As_2	48	730 - 740	640 - 650	6 - 9
Cd_3As_2	24	655 - 670	560 - 570	4 - 7

В качестве подложки были выбраны плоскопараллельные, ориентированные {0001} и полированные пластины из лейкосапфира - $\alpha-Al_2O_3$ размером $30 \times 24 \times 0,5$ мм³. Выбор сапфира в качестве подложки был обусловлен тем, что коэффициенты термического расширения сапфира и соединений $A_3B_2^{IV}$ сравнительно близки. Это позволяет избежать образования значительных механических напряжений, приводящих к отслоению и растрескиванию получаемых пленок.

Перед напылением подложки подвергали следующей обработке: механической и ультразвуковой очисткам; обезжириванию; травлению

в $H_2O_2 + HCl + H_2O$; промывке в бидистиллированной воде и сушке.

Ввиду того, что испарение соединений $A_3B_2^{IV}$ происходит из твердой фазы, было важно выбрать соответствующую конструкцию испарителя, так как испарение из обычно применяемых гладких лодочек проволочных нагревателей приводило к неконтролируемому потере исходной шихты, что делало процесс получения пленок $A_3B_2^{IV}$ плох воспроизводимым. Для уменьшения потерь шихты и улучшения воспроизводимости процесса получения пленок использовали специальные нагреватели, изготовленные из высокочистого графита в форме цилиндра, в которые вставлялись кварцевые испарители с калиброванными отверстиями. Для получения пленок фосфидов цинка и кадмия оптимальным являлся испаритель, состоящий из вольфрамового нагревателя в форме тонкой разборной трубочки с отверстиями, в которую вставлялась лодочка с определенными навесками шихты.

Исследования влияния скорости испарения, температуры подложки и количества вводимой исходной шихты на состав, структуру, толщину и свойства пленок соединений $A_3B_2^{IV}$ показали, что основными технологическими факторами, формирующими структуру, состав и свойства пленок, являются температура и структура подложки. Варьируя температуру подложки получали как аморфные, так и кристаллические пленки соединений $A_3B_2^{IV}$ стехиометрического состава, по свойствам приближающиеся к монокристаллам этих соединений.

В четвертой главе представлены результаты исследования влияния технологических условий на состав, структуру и свойства пленок соединений $A_3B_2^{IV}$.

Исследования химического состава пленок показали, что в широком интервале скоростей напыления при низких температурах подложки пленки соединений $A_3B_2^{IV}$, как правило, характеризовались избыточным содержанием компонента В, что, естественно, сказывалось

ось на их электрофизических параметрах. Нагрев подложек в процессе напыления приводил к частичному реиспарению легколетучего компонента, что давало возможность регулировки химического состава получаемых пленок. Эмпирическим путем были определены оптимальные температуры подложек, при которых, согласно данным электронно-зондового микроанализа и атомно-абсорбционной спектроскопии, состав пленок максимально приближался к стехиометрическому, их электрические свойства - к свойствам соответствующих монокристаллов (табл. 2-5).

Согласно данным рентгеноструктурного анализа, в пленках с ростом температуры подложки наблюдается переход от аморфного состояния к кристаллическому.

Для Zn_3P_2 (рис. 2, а) аморфные пленки получались при температурах подложки до $150^\circ C$, а с ростом температуры до $300^\circ C$ происходило постепенное увеличение в них кристаллической составляющей, а при температурах выше $230^\circ C$ получались кристаллические пленки.

Таблица 2. Влияние температуры подложки на состав, структуру и свойства пленок Zn_3P_2

Температура подложки, $^\circ C$	Состав, ат. % P	Удельное сопротивление, Ом·см	Концентрация носителей, $см^{-3}$	Подвижность носителей, $см^2/В·с$	Размер зерна, мкм
200	41,5	$1 \cdot 10^6$	-	-	<0,5
280	41,3	$3 \cdot 10^5$	-	-	1
300	41,2	$5 \cdot 10^4$	-	-	2
360	40,0	$6 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^{14}$	1,3	2-3
380	40,0	$2 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^{14}$	5,2	3-4
400	38,1	$1 \cdot 10^6$	-	-	3
Монокристалл		$1,5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^{14}$	10	-

Таблица 3. Влияние температуры подложки на состав, структуру и свойства пленок Cd_3P_2

Температура подложки, °C	Состав, ат. % P	Удельное сопротивл. Ом·см	Концентрация носителей, см ⁻³	Подвижность носителей, см ² /В·с	Размер зерна, мкм
50	45,0	-	-	-	-
80	-	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{19}$	10	<0,5
100	41,2	$2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{18}$	30	0,5
120	-	$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{17}$	10^2	0,5-1
140	40,0	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{17}$	$5 \cdot 10^2$	1-2
160	39,1	$1 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{17}$	10^2	2
Монокристалл		$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{17}$	10^3	-

Таблица 4. Влияние температуры подложки на состав, структуру и свойства пленок Zn_3As_2

Температура подложки, °C	Состав, ат. % As	Удельное сопротивл. Ом·см	Концентрация носителей, см ⁻³	Подвижность носителей, см ² /В·с	Размер зерна, мкм
200	42,0	-	-	-	<0,5
240	40,8	$5 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{17}$	16	0,5
300	40,1	$4 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{17}$	25	1-2
350	40,0	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{17}$	25	2-3
390	40,0	$2 \cdot 10^{-1}$	$2,8 \cdot 10^{17}$	30	3-4
400	41,0	$3,5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{17}$	10	3
Монокристалл		10	$7 \cdot 10^{17}$	10	-

Для Cd_3P_2 (рис.2,б) то же самое наблюдалось, соответственно при 80 и 120°C, для Zn_3As_2 (рис.2,в) - при 130 и 200°C, а для Cd_3As_2 (рис.2,г) - при 80 и 140°C.

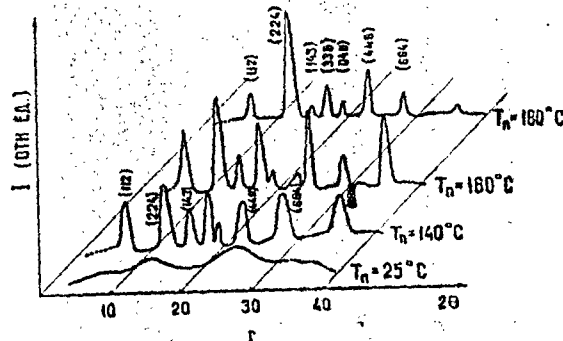
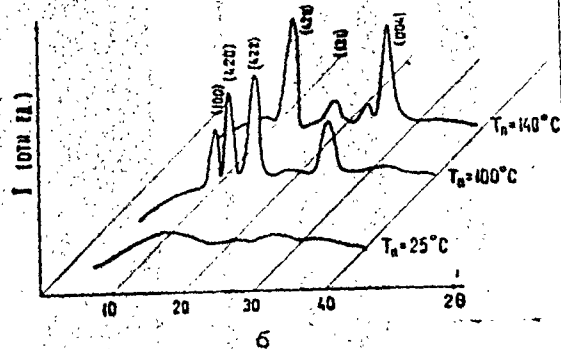
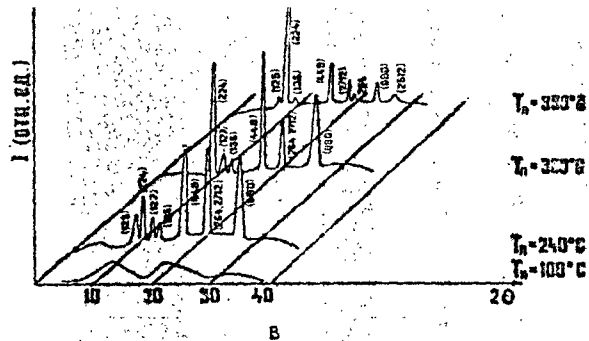
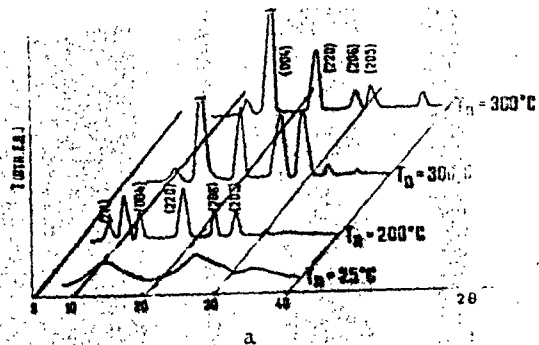


Рис. 2 Зависимость рентгеновских дифракций пленок Zn_3P_2 (а), Cd_3P_2 (б), Zn_3As_2 (в) и Cd_3As_2 (г) от условий получения

Таблица 5. Влияние температуры подложек на состав, структуру и свойства пленок Cd_3As_2

Температура подложки, °C	Состав, ат. % As	Удельное сопротивление, Ом·см	Концентрация носителей, см ⁻³	Подвижность носителей, см ² /В·с	Размер зерна, мкм
140	40,6	$5 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{18}$	$2 \cdot 10^2$	~ 1
150	40,1	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{18}$	$1 \cdot 10^3$	1-1,5
165	40,0	$2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{18}$	$1 \cdot 10^3$	2-2,5
175	40,0	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{18}$	$3 \cdot 10^3$	2-3
180	40,0	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{18}$	$4 \cdot 10^3$	3-4
190	39,8	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{18}$	$2 \cdot 10^3$	3
Монокристалл		$5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{18}$	$1 \cdot 10^4$	-

В кристаллических пленках с ростом температуры подложки увеличивался размер кристаллитов и отмечалось их упорядочение относительно поверхности подложки. Пленки фосфидов цинка и кадмия в основном состояли из кристаллитов четырехугольной формы, ориентированных в направлении [004], кристаллиты пленок Zn_3As_2 и Cd_3As_2 отличались треугольной формой и ориентировались в направлении [224].

Средняя величина кристаллитов в пленках, полученных при оптимальных технологических режимах, составляла: для Zn_3P_2 , Zn_3As_2 и Cd_3As_2 ~ 2,5 - 3,0 мкм, а для Cd_3P_2 ~ 1-1,5 мкм.

Для объяснения ориентирующего воздействия сапфировой подложки $\alpha - Al_2O_3$ на рост пленок соединений A_3B_2 проведен анализ кристаллических структур. Так как кристаллографическая плоскость (224), в которой происходит упорядочение структур пленок Zn_3As_2 и Cd_3As_2 , тождественна плоскости (111) элементарной ячейки мышьяка, можно рассмотреть плоскость (111) (рис.3а,б). Расположены

омов в этой плоскости элементарной ячейки ГЦК -структуры мышьяка подчинено закону плотнейшей упаковки с усредненным межатомным расстоянием $4,17 \text{ \AA}$ для арсенида цинка и $4,49 \text{ \AA}$ для арсенида кадмия. Отметим, что среднее минимальное расстояние между атомами металлов в аналогичных плоскостях такое же, как и в плоскостях мышьяка. Кристаллическая структура $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ описывается в гексагональной сингонии пр. гр. $R\bar{3}c (D_{3d}^6)$ с двумя формульными единицами на элементарную ячейку. Атомы кислорода образуют приблизительно плотнейшую гексагональную упаковку; между слоями плотноупакованных атомов кислорода атомы алюминия занимают $2/3$ образованных слоями кислорода междоузлий. Рассмотрим проекцию двойного слоя металлов - кислород на кристаллографическую плоскость (0001) кристаллической структуры $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$. В этой двойной плоскости незначительным межузельным промежуткам "кислородной" плоскости располагаются по центрам треугольников из атомов кислорода двух видов, развернутых по отношению друг - другу на 180° (Рис.4). Расчетное расстояние между однотипными свободными междоузлиями в обоих случаях одинаково и составляет величину $4,75 \text{ \AA}$. Геометрическое подобие кристаллографических плоскостей (224) структур $\alpha - \text{Zn}_3\text{As}_2$ и $\alpha - \text{Cd}_3\text{As}_2$ и (0001) структуры мышьяка подкреплено близостью соответствующих межатомных расстояний. При этом расхождение в параметрах этих плоскостей для арсенида цинка составляет 14 %, а для арсенида кадмия 6%. Это объяснено данными Л.С.Палатника является допустимым при сравнении кристаллических структур материалов подложки и пленки в геометрически подобных кристаллографических плоскостях и объясняет более эффективное ориентирующее воздействие сапфировой подложки на рост пленки полупроводящего арсенида кадмия.

В пятой главе приведены данные исследования люминесценции мо-

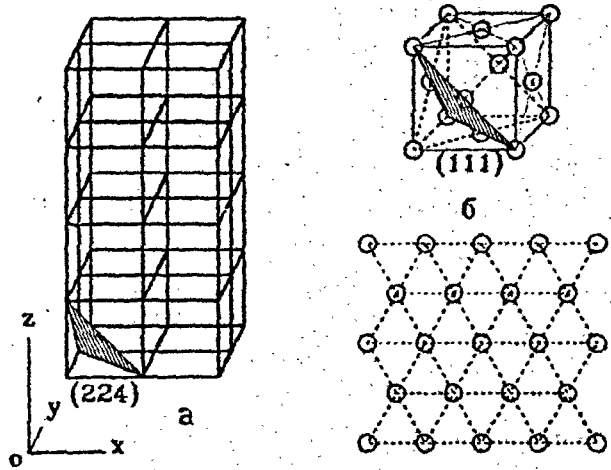


Рис. 3. Кристаллическая структура а - Zn_3As_2 и а - Cd_3As_2 .
 а - элементарная ячейка $I4_3cd$, состоящая из ячеек ПП
 структуры As; б - элементарная ячейка и плоскость (1
 ПП - структуры As.

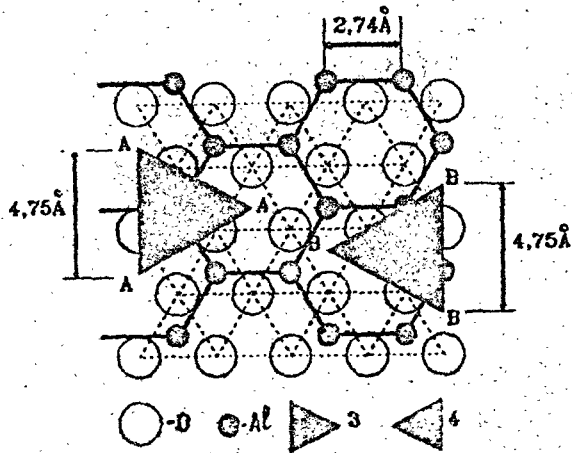


Рис. 4. Схема взаимного расположения центров кристаллизации
 Zn_3As_2 и Cd_3As_2 на плоскости (0001) а - Al_2O_3 .

инертного газа при температуре 140-150°C в течение 1-2 часов, затем к ним припаивали электрические контакты. Для обеспечения механической прочности и стабильности поверхность элементов покрывали химически стойким лаком. Последующее финишное скрайбирование обеспечивало разделение общей подложки на 24 отдельных элемента. Результаты испытаний датчиков магнитного поля на основе пленок Cd_3As_2 при 300 К представлены в табл.6.

Таблица 6

$T_{II},$ °C	$d,$ мкм	$R_{\Sigma},$ Ом	$N,$ кГц	$I_{\Sigma},$ мА	$U_{II},$ мВ	$\gamma,$ В/А·кГц
180	1,5	32	3	5	5,5	0,36
	2,0	24	3	5	4,6	0,28
	2,5	20	3	2	1,4	0,23
			3	3	2,2	0,24
			3	5	3,4	0,24
			5	5	6,0	0,24
		7	5	8,4	0,24	
		9	5	10,8	0,24	
165	1,5	53	3	5	3,5	0,23
	2,0	40	3	5	2,8	0,18
	2,5	32	3	5	2,2	0,15
170	1,5	37	3	5	3,9	0,26
	2,0	28	3	5	3,0	0,20
	2,5	22	3	5	2,4	0,16

Как показали результаты этих испытаний, Холловские элементы на основе пленок Cd_3As_2 обладают высокой чувствительностью, хорошей воспроизводимостью параметров и отличаются технологичностью их изготовления.

С целью изучения возможности применения тонких пленок Zn_3P_2 в солнечной энергетике были изготовлены диоды Шоттки и измерены

к характеристики.

Диод Шоттки изготавливали напылением Zn_3P_2 на лейкосапфировую подложку, покрытую ZnO_2 . Для создания барьера Шоттки через специальную маску с диаметром отверстия 1 мм напыляли Mg толщиной 0,1 - 0,2 мкм.

Измерение параметров проводили в темноте и при освещении ультрафиолетовой лампой. Интенсивность освещения соответствовала 10 Вт/см². Исследования показали, что лучшими параметрами обладают диоды Шоттки, изготовленные на основе пленок Zn_3P_2 , напыленных при температурах подложки 350 - 380°C : $U_{х.х.} = 0,32$ В; $J_{к.з.} = 0,7$ А/см²; $FF = 0,45$; $\eta \sim 1\%$.

ВЫВОДЫ

1. Методом вакуумного термического испарения получены аморфные и кристаллические пленки соединений Zn_3P_2 , Cd_3P_2 , Zn_3As_2 и Cd_3P_2 на ориентированных лейкосапфировых подложках, исследовано влияние технологических факторов на их состав, структуру и свойства.
2. Показано, что основными технологическими факторами, определяющими структуру и состав пленок, являются температура и структура подложки. Для пленок Zn_3P_2 переход от аморфного к кристаллическому состоянию наблюдали при температурах подложки 150 - 230°C, для пленок Zn_3As_2 - при 130 - 200°C, для пленок Cd_3P_2 - при 80 - 120°C и для пленок Cd_3As_2 - при 80 - 140°C. Дальнейшее увеличение температуры подложки приводило к повышению структурного совершенства кристаллических пленок. При этом для пленок Zn_3P_2 и Cd_3P_2 определяющим было кристаллографическое направление [004], для пленок Zn_3As_2 и Cd_3As_2 - направление [224].
3. Установлены оптимальные технологические условия, позволяющие получать ориентированные кристаллические пленки соединений A_3B_2 толщиной до 3 мкм, с электрическими и оптическими свойствами, приближающимися к свойствам их монокристаллов.
4. Впервые на монокристаллах и пленках Zn_3As_2 получена фотолюминесценция при 4,2 К с максимумом полосы 1,078 эВ и полушириной 13 мэВ, что хорошо согласуется с данными по определению ширины запрещенной зоны. Показано, что люминесценция, по-видимому, обусловлена излучательной рекомбинацией неравновесных носителей заряда через энергетические состояния в запрещенной зоне, энергия активация которых 0,03 эВ.
5. На основе пленок Cd_3As_2 изготовлены датчики магнитного поля,

обладающие высокой линейностью в диапазоне до 10 кГц со следующими параметрами: размеры $4 \times 2 \times 0,5$ мм³, чувствительность = 0,3 В/А кГц, температурный коэффициент $\alpha = 0,3$ %/°С.

На базе пленок Zn_3P_2 изготовлен диод Шоттки, испытания вольт-амперных характеристик которого при освещенности 10 мВт/см² показали к.п.д. ~ 1 %.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

Калилов Н.С. Получение свойства пленок Cd_3As_2 и Zn_3P_2 . // сб. тез. IV конференции молодых ученых "Научные достижения и разработки молодых ученых - народному хозяйству." Ужгород, 1989. С. 62

Калилов Н.С., Саньгин В.П., Квардаков А.М., Пашкова О.Н. Получение и свойства тонких пленок Cd_3As_2 и Zn_3P_2 // Изв. АН СССР Неорг. материалы. 1990, т.26, № 9, 1975-1976

Калилов Н.С., Саньгин В.П., Квардаков А.М., Пашкова О.Н., Дрьев Г.С., Маренкин С.Ф. Получение и свойства тонких пленок арсенидов цинка и кадмия // В сб. тез. VII Всесоюзного совещания "Материаловедение полупроводниковых соединений группы $A^{II}B^V$ ", Черновцы, 1990, С. 100

Калилов Н.С., Саньгин В.П., Квардаков А.М., Пашкова О.Н., Дрьев Г.С., Маренкин С.Ф. Получение и свойства тонких пленок оксидов цинка и кадмия // В сб. тез. VII Всесоюзного совещания "Материаловедение полупроводниковых соединений группы $A^{II}B^V$ ", Черновцы, 1990, С. 101

Дрьев Г.С., Калилов Н.С., Маренкин С.Ф. Рентгеноструктурные исследования некристаллических пленок соединений группы $A^{II}B^V$. // В сб. тез. VII Всесоюзного совещания по физико-химическому

- анализу, Саратов, 1991, С. 163
6. Жалилов Н.С., Юрьев Г.С., Маренкин С.Ф. Получение и рентген фазовые исследования тонких пленок арсенида цинка // Изв. АН СССР. Неорган. материалы, 1991, т.27, № 12, С.2499-2501
 7. Юрьев Г.С., Жалилов Н.С., Маренкин С.Ф. Рентгенографическое изучение тонких пленок соединений группы $A^{II}B^V$ // Изв.АН СССР Неорган. материалы, 1992, т.28, № 6, С. 1232-1238
 8. Маренкин С.Ф., Жалилов Н.С., Мудрый А.В., Патук А.И., Шап А.И. Оптические свойства монокристаллов и пленок Zn_3As_2 // Изв. АН СССР. Неорган. материалы, 1992, т.28, № 10, С.2077-2
 9. Жалилов Н.С., Сангин В.П., Юрьев Г.С. Маренкин С.Ф., Лазар В.Б. Ориентированные пленки полупроводниковых соединений Zn_3As_2 и Cd_3As_2 // Ж. Неорг. химия, 1992, т.28, № 9, С.2109-2119

Список цитируемой литературы.

1. Лазарев В.Б., Шевченко В.Я., Гринберг Я.Х., Соболев В.В. Полупроводниковые соединения группы $A^{II}B^V$ // М., Наука, 1978.
2. Маренкин С.Ф., Шевченко В.Я., Стеблевский А.В., Алиханян А. Горгораки В.И. Исследование термической диссоциации полупроводников группы $A^{II}B^V$ // Изв. АН СССР. Неорган. материалы 1980, т.16, № 10, С.1757
3. Нишан Г.Д., Гринберг Я.Х., Лазарев В.Б. Тензиметрические исследования сублимации Cd_3As_2 // Ж. Физич. химии, 1989, т.63, № 2, С.325-328