

средних широтах, в то время как при  $u=0,99$  она достигает минимума в экваториальной области.

Анализ частотной зависимости параметра  $\varphi_s$  показывает, что ориентация индикатрисы рассеяния зависит от частоты волны очень слабо.

Таким образом, результаты проведенных вычислений свидетельствуют о том, что на достаточно большом интервале частот параметры индикатрисы рассеяния лучей в плоскостной среде с эллипсоидальными неоднородностями меняются достаточно мало, однако с приближением частоты зондирующей волны к максимально применимой частоте при наклонном падении происходит некоторое изменение степени вытянутости индикатрисы рассеяния. Выводы работы необходимо учитывать при определении объемных характеристик рассеивающих неоднородностей ионосферы на основании полученных экспериментально статистических параметров рассеянного поля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику. М., 1976, т. 1, с. 235—242.
2. Кляцкин В. И. Статистическое описание динамических систем с флуктуирующими параметрами. М., 1975, с. 106—117.
3. Гольнский С. М., Гусев В. Д. Статистика лучей в среде с эллипсоидальными неоднородностями и регулярной рефракцией.—Геоматнетизм и аэрономия, 1976, 16, № 6, с. 1026—1031.
4. Гольнский С. М., Овчинникова Н. П. Индикатриса рассеяния лучей в плоскостной изотропной среде с анизомерными неоднородностями.—Вестн. Моск. ун-та. Физ., астрон., 1979, 20, № 6, с. 90—93.
5. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. М., 1973, с. 345—349.
6. Skinner N. J., Hope J., Wright R. W. Horizontal drift measurements in the ionosphere near the equator.—Nature, 1958, 182, p. 1363—1365.
7. Chandra H., Rastogi R. G. Some characteristics of the ionospheric irregularities over the magnetic equator derived from spaced fading records.—Ann. Geophys., 1972, 28, N 3, p. 581—587.
8. Гусев В. Д., Гайлит Т. А., Островский В. М. Исследование анизотропии неоднородностей ионосферы при наклонном зондировании.—Геоматнетизм и аэрономия, 1975, 15, № 2, с. 364—366.

Поступила в редакцию  
27.03.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1980, т. 21, № 5

УДК 538.113

**В. Н. ЛАЗУКИН, Л. А. СОРИН, А. Н. ТЕРЕНТЬЕВСКИЙ,  
И. Н. ТЫЧИНА**

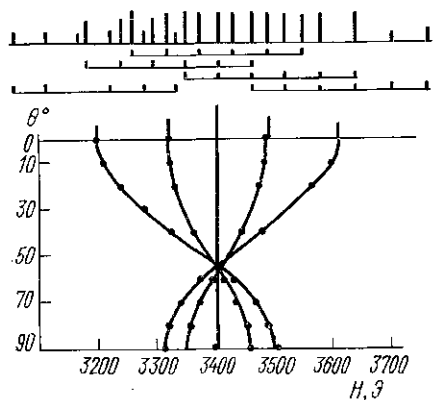
#### **СПЕКТР ЭПР $Mn^{2+}$ В СОЕДИНЕНИЯХ ТИПА $A^2B^4C^5_2$**

Монокристаллы полупроводниковых соединений типа  $A^2B^4C^5_2$  вызывают значительный интерес в свете возможностей их практических применений в различных полупроводниковых устройствах квантовой электроники (световодах, диодах Гана, приемниках и преобразователях излучения, инжекционных генераторах света, элементах нелинейной оптики и др.). Известно, что эти соединения имеют ряд преимуществ по сравнению с другими полупроводниковыми материалами.

С другой стороны, вопросы структуры, в особенности кристаллофизические свойства этих соединений, изучены сравнительно мало [1,

2], а исследованию их радиоспектроскопических характеристик посвящена практически одна работа [3].

В настоящей работе предпринята попытка исследования спектра ЭПР  $Mn^{2+}$  в кристаллах  $ZnGeP_2$  и  $CdSiP_2$ . Отметим, что в работе [1] авторы указывают на проблематичность и дискуссионность предположенного характера химической связи в данных соединениях; кроме того, известно наличие влияния тетрагонального сжатия на характер



Угловая зависимость тонких линий иона  $Mn^{2+}$  в  $CdSiP_2$

химической связи в кристаллических структурах и зависимость полупроводниковых свойств соединения от типа этой связи. Становится очевидным, что получение четкой информации о корреляции между характером химической связи и тетрагональным искажением решетки позволит наметить пути создания полупроводниковых кристаллов с заданными характеристиками. Спектр ЭПР  $Mn^{2+}$  позволяет определить валентное состояние замещаемого в соединении иона. В рассматриваемом нами случае  $Mn^{2+}$  изоморфно замещает  $Cd$  или  $Zn$ , что с большей вероятностью указывает на двухвалентность замещаемых ионов.

На рисунке представлена полученная угловая зависимость линий тонкой структуры спектра  $Mn^{2+}$  в решетке  $CdSiP_2$ . В верхней части рисунка для сопоставления показано положение линий сверхтонкой структуры  $Mn^{2+}$  в случае параллельной ориентации спектра. Поскольку тонкое расщепление несколько меньше сверхтонкого, экспериментальное исследование углового смещения линий проводилось лишь на тонких переходах  $+5/2 \rightarrow +3/2$  и  $-3/2 \rightarrow -5/2$ . Экспериментальные данные представлены точками. Сплошные линии — теоретические зависимости, полученные из рассмотрения спин-гамильтона гексагональной симметрии

$$\widehat{\mathcal{H}} = \frac{1}{3} DO_2^0 + \frac{1}{180} FO_4^0 + ASI,$$

описывающего ЭПР-спектр  $Mn^{2+}$  в решетках  $CdSiP_2$  и  $ZnGeP_2$ .

Измерения даны для констант (табл. 1):

Таблица 1

Решетка	$g$	$D, 10^{-4} \text{ см}^{-1}$	$F, 10^{-4} \text{ см}^{-1}$	$A, 10^{-4} \text{ см}^{-1}$
$GdSiP_2$	$2,0029 \pm 0,0001$	$45,1 \pm 0,5$	$8,1 \pm 0,5$	$53,9 \pm 0,5$
$ZnGeP_2$	$2,0005 \pm 0,0001$	$-76,6 \pm 0,5$	$12,3 \pm 0,5$	$53,3 \pm 0,5$

Для оценки вклада разных типов химической связи приведенные данные были нами сопоставлены с результатами работ [4—8] (табл. 2).

Известно, что константа СТС определяется характером химической связи. В работах [7, 8] для решеток  $CdTe$ ,  $ZnTe$ ,  $ZnSe$ ,  $ZnS$  оценивает-

Таблица 2

Решетка	$A, 10^{-4} \text{ см}^{-1}$	Источник	Решетка	$A, 10^{-4} \text{ см}^{-1}$	Источник
Ge	42,7	[4]	ZnSe	60,0	[7]
GaP	53,3	[5]	ZnS	63,8	[8]
CdTe	56,9	[7]	CdSiP <sub>2</sub>	53,9	настоящая работа
ZnTe	56,9	[7]	ZnGeP <sub>2</sub>	53,3	

ся доля ионной связи по сравнению с ковалентной: на первую приходится 20—25% от второй. При этом константы СТС изменяются в пределах  $(56—64) \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ . Проведенное сопоставление дает основание утверждать, что в нашем случае ионная связь составляет 20—30% от ковалентной.

Точно так же константы тонкого взаимодействия определяются химической связью, характеризуя, по-видимому, геометрические параметры этой связи. Во всяком случае, отчетливо усматривается вполне однозначная зависимость констант тонкого расщепления от коэффициента тетрагонального сжатия. Следовательно, измерения тонких и сверхтонких констант спектров ЭПР могут служить инструментом исследования химической связи и особенностей тетрагонального сжатия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горюнова Н. А., Валов А. В. Полупроводники  $A^2B^4C_2^6$ . М., 1974, с. 52—53.
2. Shay J. L., Wernick J. H. Ternary chalcopyrite semiconductors — growth, electronic properties and application.— Pergamon Press, N. Y. 1975, 370 p.
3. Kaufmann U., Räuber A., Schneider J. ESR analysis of II B—IV—V<sub>2</sub> semiconductors with  $Mn^{2+}$  as a paramagnetic probe.— Phys. Stat. Sol. (b) 1976, 74, N 1, p. 169—175.
4. Watkins G. D. Bull. Am. Phys. Soc. s. II. 1957, 6, N 2, p. 118.
5. Мастеров В. Ф., Саморуков Б. Е., Соболевский В. К., Штельмах К. Ф. ЭПР ванадия в GaP.— Физ. и техн. полупроводников, 1978, 12, № 3, с. 529—533.
6. Breivogel F. W., Sarkissian V. ESR spectrum of  $Mn^{2+}$  in chloride, bromide and iodide host compounds.— J. Chem. Phys. 1968, 48, N 6, p. 2442—2445.
7. Yudin V. M. Estimate of covalency in glasses from the effective magnetic field of the  $Mn^{2+}$  nuclei.— Phys. Lett. 1968, 27A, p. 200—201.
8. Matsumura O. ESR of Mn-activated phosphors.— J. Phys. Soc. Jap. 1959, 14, p. 108.

Поступила в редакцию  
20.06.79

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1980, т. 21, № 5

УДК 534.614

Ф. В. РОЖИН, О. С. ТОНАКАНОВ

### КАЛИБРОВКА ГРАДИЕНТНЫХ ГИДРОФОНОВ В НЕЗАГЛУШЕННОМ ГИДРОБАССЕЙНЕ

Методам калибровки градиентных гидрофонов посвящен ряд работ [1—9], в которых рассматриваются как лабораторные так и натурные методы калибровки. Во всех случаях в силу большего распространения приемников давления чувствительность градиентных гидрофонов представляется в единицах звукового давления, так как связь