

РЕЗУЛЬТАТЫ ДВОЙНОГО ДОПИРОВАНИЯ УЗКОЗОННОГО ПОЛУПРОВОДНИКА PbS ПРИМЕСЯМИ МАРГАНЦА И МЕДИ: ДАННЫЕ ИЗУЧЕНИЯ МЕТОДОМ ЭПРР.Р. Зайнуллин¹, Т.А.Н. Хушея¹, А.М. Синицин¹, В.А. Шустов², В.А. Уланов^{1,2}¹ Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия² Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ «Казанский научный центр РАН», г. Казань, Россия

Методом электронного парамагнитного резонанса при температурах 4.2 и 300 К определены параметры спиновых гамильтонианов и формы резонансных линий примесных центров Cu^{2+} и Mn^{2+} , замещающих в кристалле PbS катионы Pb^{2+} . Установлено, что в процессе выращивания методом Бриджмена в допированных кристаллах $\text{Pb}_{1-x}\text{Cu}_x\text{Mn}_y\text{S}$ образуются случайно ориентированные микрокристаллические включения, содержащие в своих объемах большую часть примесных ионов Cu^{2+} и Mn^{2+} . Оказалось, что величины g-фактора и параметра сверхтонкой структуры ионов Mn^{2+} зависят от концентрации примесной меди, что объясняется акцепторной ролью этой примеси.

Ключевые слова: метод электронного парамагнитного резонанса, PbS, галенит, узкозонный полупроводник, марганец, медь, магнитная примесь.

Введение

Сульфид свинца (PbS, галенит) относится к семейству халькогенидов свинца – прямозонных полупроводниковых материалов группы $A^{IV}B^{VI}$, имеющих структуру каменной соли (NaCl) и узкую запрещенную зону ($E_g \approx 0.23\text{--}0.42$ эВ) [1]. Малая ширина запрещенной зоны халькогенидов свинца обуславливает ряд свойств, которые существенно отличают их от полупроводников с большой шириной запрещенной зоны. К этим свойствам относятся малая эффективная масса электронов, их высокая подвижность, большая величина статической диэлектрической проницаемости и наличие энергетических уровней собственных дефектов в запрещенной и в разрешенных зонах [2, 3]. Вследствие того, что кристаллическая структура халькогенидов свинца близка к состоянию термодинамической неустойчивости [4, 5], путем искусственного нарушения стехиометрии этих материалов или путем легирования примесями в их объемах могут быть созданы наноскопические кластеры собственных и примесных дефектов [6, 7]. В результате на диаграммах плотности состояний свободных носителей в объемах кластеров возникают максимумы, следствием чего является появление виртуально связанных состояний и, следовательно, существенные изменения транспортных свойств легированного материала.

Галенит оказался одним из первых материалов полупроводниковой электроники. Несмотря на то, что позднее были найдены более удобные для практических задач материалы (германий, кремний, арсенид галлия и т.д.), интерес материаловедов к галениту не ослабевает до настоящего времени в связи с открывающимися возможностями создания в его объеме различных наноскопических и мезоскопических структур. В настоящее время этот материал широко используется в производстве высокочувствительных и быстродействующих фотодетекторов, лазерных и светоизлучающих диодов инфракрасного диапазона, эффективных термоэлектрических генераторов и тепловых насосов [8]. Однако, в отличие от других представителей ряда халькогенидов свинца, возможности галенита до сих пор изучены недостаточно. Конечно, выполненные к данному моменту исследования влияния некоторых примесей на параметры кинетических процессов в галените позволяют достаточно успешно прогнозировать результаты его допирования примесными атомами одного вида (см, например, [3, 9]), но до настоящего времени предсказать результаты одновременного допирования двумя и более видами примесных атомов невозможно. Последнее объясняется малым количеством экспериментальных исследований, выполненных в данном направлении.

Кажется вероятным, что квантовое состояние примесного дефекта, связанного с примесным атомом одного типа, сильно зависит от присутствия в кристаллической решетке примесных атомов другого типа. Но количественное описание таких зависимостей осложняется тем, что кристаллы галенита обычно содержат большое количество собственных дефектов. Среди них наибольший вес падает на вакансии серы, каждая из которых поставляет в зону проводимости два электрона. Можно предположить, что влияние этих дефектов на результат двойного допирования особенно велико. В частности, наличие в кристалле вакансий серы должно привести к процессам

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>