

газосодержания с точностью $\sim 10^{-4}$ ат%. Оказалось, что концентрация индия на поверхности образцов при измерениях в нескольких точках различается по величине до семи раз.

Обнаружена чувствительность низкотемпературного поведения МВ к состоянию поверхности (свежетавленная и после старения на воздухе) нелегированных образцов. Так на свежетавленных кристаллах в области $T < 80$ К МВ практически не зависит от температуры (рисунок, а). Тогда как на образцах, выдержанных на воздухе около месяца, в аналогичной области температур наблюдается сильная температурная зависимость МВ с различными знаками производной (рисунок, б).

По-видимому, это связано с поверхностью монокристаллов $Cd_{1-x}Hg_xTe$, где, согласно [5], формируются области отрицательных и положительных зарядов, причем концентрация электронов в обогащенной области поверхности может увеличиваться на порядок. Последнее обязательно как окислению материала (образование проводящего окисла CdO электронного типа), так и обогащению поверхностного слоя ртутью [6]. При этом степень окисления зависит от структурного совершенства кристалла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] G. V. Lashkarev, D. F. Migley, A. D. Shevchenko, K. D. Tovstyuk. Phys. St. Sol. (b), 161, 663 (1974).
- [2] Г. В. Лашкарев, А. В. Бродовой, А. Л. Мирец, Г. А. Зыков. ФТП, 26, 145 (1992).
- [3] Н. М. Зарицкий, А. А. Кончиц, С. П. Колесник, В. А. Стефанович, О. А. Миронов, С. В. Чистяков. Препринт. Институт полупроводников АНУ. Киев (1991).
- [4] S. M. Duguzhev, A. V. Makhin, V. A. Moshnikov, A. J. Shelykh. Cryst. Res. and Techn., 25, 145 (1990).
- [5] P. Hoschl, P. Moravec, J. Frans, R. Crill, E. Belas. J. Appl. Phys., 70, 313 (1991).
- [6] Н. Н. Берченко. Автореф. докт. дис., 33. Киев (1991).

Редактор Т. А. Полянская

ФТП, том 27, вып. 8, 1993

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ВАКАНСИЙ ХАЛЬКОГЕНА В ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННОМ СУЛЬФИДЕ СВИНЦА

А. Н. Вейс

Санкт-Петербургский государственный технический университет, 195251, Санкт-Петербург, Россия

(Получено 10 марта 1993 г. Принято к печати 25 марта 1993 г.)

В настоящее время ионная имплантация достаточно широко применяется в производстве полупроводниковых приборов на основе халькогенидов свинца. Этим обусловлен интерес к изучению физических свойств ионно-имплантированных халькогенидов свинца и энергетического спектра радиационных дефектов. Среди всех халькогенидов свинца, легированных методом ионной имплантации, наиболее подробно изучен $PbTe$. В частности, при исследовании спектров коэффициента оптического поглощения $\alpha(\hbar\omega)$ было показано, что энергетический спектр радиационных дефектов в $PbTe$ состоит из двух термов: синглета E_1 и дублета E_2 [1, 2]. Сопоставление экспериментальных данных [1, 2] с результатами теоретического исследования [3] позволило предположить, что обнаруженные в

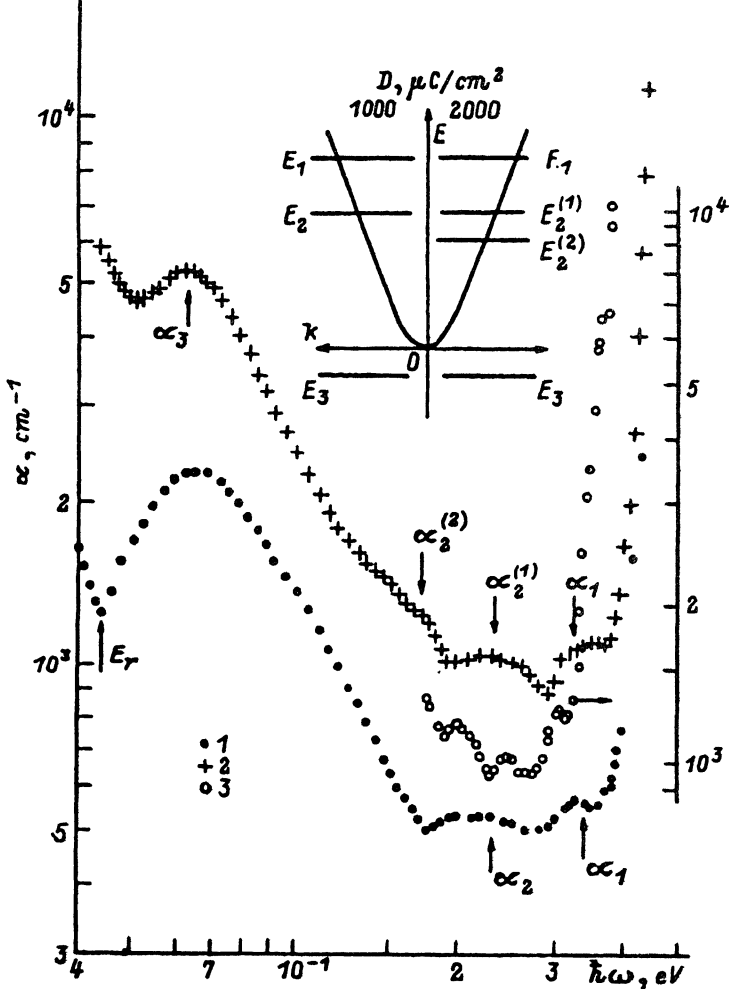


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициента поглощения в $\text{PbS}(\text{Zn}^+)$. D , $\mu\text{Кл}/\text{см}^3$: 1 — 1000; 2, 3 — 2000. T , К: 1, 2 — 300; 3 — 105. На вставке — энергетическая схема ионно-имплантированного сульфида свинца.

ионно-имплантированном PbTe термы E_1 и E_2 принадлежат вакансии халькогена V_{ch} .

Дополнительное подтверждение этого предположения могло бы быть получено при исследовании спектров $\alpha(\hbar\omega)$ в компенсированном PbTe с проводимостью n -типа, легированном акцепторными примесями натрия или таллия при введении избыточного по отношению к стехиометрии количества свинца Pb_{ex} . Как известно [4], основным типом собственных дефектов в компенсированных халькогенидах свинца, легированных Na или Tl, являются вакансии халькогена. Однако при высоких концентрациях акцепторных примесей достичь электронного типа проводимости в теллуриде свинца при введении Pb_{ex} оказалось невозможным [5]. Поэтому в настоящей работе в качестве объекта исследований был избран сульфид свинца. В этом материале достаточно подробно изучен энергетический спектр V_{ch} [6]. Однако ионно-имплантированный PbS экспериментально до сих пор не исследовался.

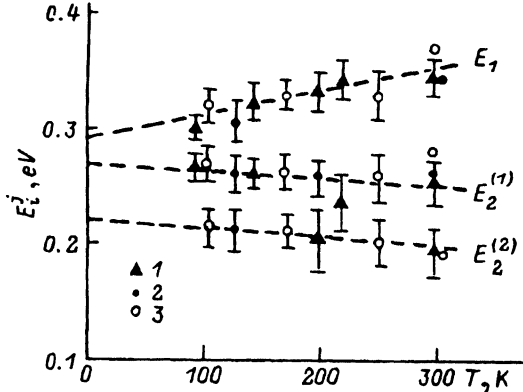


Рис. 2. Температурные зависимости энергий оптической перезарядки вакансий халькогена в сульфиде свинца. 1 — данные [6], 2, 3 — результаты эксперимента для PbS(Zn⁺) при D, мкКл/см²: 2 — 1000, 3 — 2000.

Недостающие экспериментальные данные были получены при исследовании спектров оптического поглощения в PbS (Zn⁺). Ионная имплантация цинка при дозах 1000 и 2000 мкКл/см² была осуществлена в предварительно подготовленную оптическую поверхность массивных моно- или поликристаллических (прессованных) образцов сульфида свинца с электронным типом проводимости (ионный ток 1 мкА/см², энергия ионов 150 КэВ). Постимплантационный отжиг образцов не производился. Уменьшение толщины имплантированных образцов до 5÷11 мкм было выполнено посредством их механической обработки с обратной (по отношению к имплантации) стороны.

Некоторые из полученных в работе экспериментальных результатов показаны на рис. 1. Как видно из рис. 1, в спектрах $\alpha(\hbar\omega)$ PbS (Zn⁺) наблюдается структура полос дополнительного поглощения, характерная для ионно-имплантированных халькогенидов свинца [1, 2]. С точечными радиационными дефектами связаны колоколообразные полосы дополнительного поглощения α_1 и α_2 . Энергетические уровни этих дефектов (E_1 и E_2 , см. энергетическую схему на рис. 1) расположены на фоне разрешенных состояний зоны проводимости. Несимметричные полосы α_3 , обладающие резкой красной границей E_r , связаны с комплексами, энергетические уровни которых (E_3) расположены в верхней половине запрещенной зоны.

Из рис. 1 видно, что увеличение дозы введенного цинка не сопровождается какими-либо качественными изменениями в частотных зависимостях $\alpha_1(\hbar\omega)$. В то же время при возрастании дозы введенного цинка до 2000 мкКл/см² в полосе α_2 появляется тонкая структура (две компоненты $\alpha_2^{(1)}$ и $\alpha_2^{(2)}$ с близкими частотными зависимостями). Эта особенность в проявлении полос дополнительного поглощения позволяет связать составляющую α_1 с синглетом, а α_2 с дублетом.

Сопоставление результатов, полученных в PbS (Zn⁺), с данными для сильно компенсированных образцов n-PbS (Na(Tl), Pb_{ex}) [6] показывает, что они подобны. Это также видно из рис. 2, на котором приведены энергии $E_i^{(j)}$ оптической перезарядки радиационных дефектов в PbS (Zn⁺), определенные посредством расчета коэффициента дополнительного поглощения и вакансий халькогена в сильно компенсированном сульфиде свинца, полученные в [6] (методика выделения полос поглощения, связанных с радиационными дефектами, и расчета их спектральных зависимостей подробно изложена в [2]).

Тот факт, что энергии оптической перезарядки радиационных дефектов в PbS (Zn⁺) совпадают с соответствующими величинами для вакансий халькогена в n-PbS (Na(Tl), Pb_{ex}), означает, что в спектрах $\alpha(\hbar\omega)$ ионно-имплантированного

PbS проявляя те же самые собственные дефекты, что и в спектрах $\alpha(\hbar\omega)$ сильно компенсированного сульфида свинца, а именно V_{cb} . Новые экспериментальные данные не только хорошо согласуются с результатами [6], но и существенно их дополняют. В частности, они позволяют уточнить величину энергетического зазора ΔE между термами E_1 и E_2 вакансии халькогена при 0 К. Оказалось, что в PbS величина ΔE не превышает 20 мэВ. Полученный результат соответствует данным теоретического исследования энергетического спектра вакансий халькогена, выполненного авторами [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Н. С. Беспалова, А. Н. Вейс, З. М. Дашевский. ФТП, 21, 946 (1987).
- [2] А. Н. Вейс, А. Ю. Рыданов, Н. А. Суворова. ФТП, 27, 701 (1993).
- [3] Б. А. Волков, О. А. Панкратов. ЖЭТФ, 88, 280 (1985).
- [4] Л. И. Бытенский, В. И. Кайданов, Р. Б. Мельник, С. А. Немов, Ю. И. Равич. ФТП, 14, 74 (1980).
- [5] В. И. Кайданов, С. А. Немов, Р. Б. Мельник, А. И. Зайцев, О. В. Жуков. ФТП, 20, 859 (1986).
- [6] А. Н. Вейс. Р. Ю. Крупицкая, А. В. Лумер. ФТП, 22, 1514 (1988).

Редактор Л. В. Шаронова

ФТП, том 27, вып. 8, 1993

ГЛУБОКИЕ СОСТОЯНИЯ В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$, ЛЕГИРОВАННЫХ ГАЛЛИЕМ

Ю. К. Выграненко, В. В. Слынько, Е. И. Слынько

Институт проблем материаловедения Академии наук Украины, 274001, Черновцы, Украина
(Получено 24 февраля 1993 г. Принято к печати 26 марта 1993 г.)

Соединения $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ и их твердые растворы кристаллизуются со значительным отклонением от стехиометрии, и равновесная концентрация электрически активных собственных дефектов составляет 10^{18} — 10^{19} см^{-3} . Понизить концентрацию свободных носителей вплоть до собственной стало возможным лишь при легировании элементами III группы [1].

Изучение фазовой диаграммы системы Pb—Ga—Te вблизи PbTe позволило установить, что кроме обычных областей с электронной и дырочной проводимостью имеется область с собственной проводимостью [2]. Стабилизированное положение уровня Ферми в PbTe:Ga находится посредине запрещенной зоны [2], что позволяет получать высокоомные образцы, обладающие высокой фоточувствительностью при низких температурах [3]. Однако в твердых растворах $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}:\text{Ga}$ в интервале составов, соответствующих $0.19 < x < 0.30$ [4], а также при $x = 0.06, 0.1, 0.18, 0.3$ [5] высокоомное состояние не обнаружено.

Цель настоящей работы — определение области составов (x) твердых растворов $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}:\text{Ga}$, степени их легирования (N_{Ga}) и отклонения от стехиометрии в сторону Te (z), обеспечивающих получение кристаллов с концентрацией носителей, близкой к собственной.

Нами исследованы электрические свойства твердых растворов $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ ($x = 0.02, 0.04, 0.06, 0.08$), легированных галлием в количестве $N_{\text{Ga}} = 0.2$ и 0.4 ат%. Кристаллы получены сплавлением исходных компонентов $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}_{1+\delta}$ ($\delta = 3 \cdot 10^{-4}$) и GaTe в вакуумированных кварцевых ампулах при заданном отклонении