

06.2; 06.3

© 1992

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ ИНДИЯ
В МОНОКРИСТАЛЛАХ СЕЛЕНИДА ЦИНКА

Ю.Ф. В а к с м а н, А.Н. К р а с н о в, Ю.Н. П у р т о в

Высокая проводимость и богатый спектр излучения позволяют использовать самоактивированные кристаллы $ZnSe$, легированные элементами III группы (Al, In, Ga), для создания на их основе электролюминесцентных структур, что является одной из актуальных задач оптоэлектроники. Вместе с тем, получение кристаллов с заданными свойствами требует более полного изучения условий, обеспечивающих эффективную диффузию примесей, а также выяснения основных параметров этого процесса.

В настоящее время исследована диффузия алюминия и галлия в монокристаллы селенида цинка в широком интервале температур [1]. Наряду с этим, температурная зависимость коэффициента диффузии индия определена лишь для области относительно низких температур (573–1073 К) [2]. Целью настоящей работы явилось определение коэффициента диффузии индия (D) в монокристаллы селенида цинка в области температур 970–1170 К, при которых осуществляется легирование кристаллов путем их отжига в расплаве металла.

Для определения величины D использовался люминесцентный метод [3], основанный на измерении профиля интенсивности излучения в максимуме заданной полосы свечения. Легирование кристаллов осуществлялось путем их отжига в расплаве индия при температуре 970–1170 К в течение 5 часов. Спектральные измерения выполнялись при температуре 77 К. Возбуждение люминесценции обеспечивалось сфокусированным лучем лазера ЛГ-70, излучающего на длине волны 441.6 нм, что соответствует области собственного поглощения селенида цинка.

Для измерения люминесцентного профиля использовались кристаллы, имеющие наклонный шлиф. Последний изготавливался при помощи специального стеклянного клина и имел наклон $\sim 10^\circ$, что позволило осуществлять измерения с шагом 10 мкм.

Спектр излучения полученных кристаллов $ZnSe:In$ состоял из двух полос с $\lambda_m = 560$ и 620 нм. Как следует из [4], полоса излучения в красно-оранжевой области спектра (620 нм) обусловлена наличием в кристаллах двухзарядных вакансий цинка, образующих ассоциативные донорно-акцепторные центры свечения с ионами соактиваторов. Желто-зеленое свечение $ZnSe:In$ обусловлено нейтральными дефектами $(\frac{1}{2}Zn \cdot D_{Zn})^x$, образованными однозарядными вакансиями цинка и ионами соактиваторов [5].

При расчете величины D учитывалось, что индий диффундирует в кристаллы из источника постоянной концентрации (расплава). В

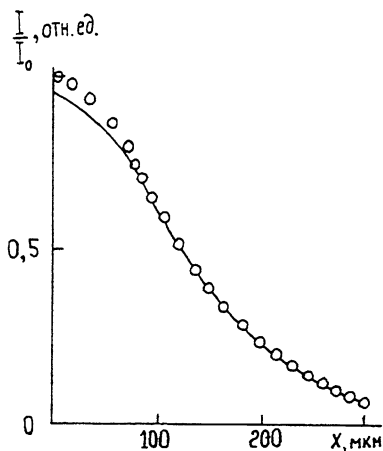


Рис. 1. Люминесцентный профиль излучения $ZnSe:In$ в области 560 нм при 77 К, полученный экспериментально (точки) и рассчитанный по формуле (2) (сплошная линия).

этом случае люминесцентный профиль может быть описан соотношением

$$I(x) = I_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right), \quad (1)$$

где x — координата, отсчитываемая вглубь образца, I_0 — интенсивность излучения в максимуме полосы с $\lambda_m = 560$ нм при $x=0$, erf — функция Гаусса.

Люминесцентный профиль кристалла селенида цинка, отожженного в расплаве индия при 1120 К, измеренный экспериментально и рассчитанный согласно (1) представлен на рис. 1. Удовлетворительное соответствие приведенных результатов достигается при значении коэффициента диффузии равном $6.5 \cdot 10^{-9}$ см²/с.

Измерения люминесцентного профиля и соответствующие расчеты по формуле (1) проведены также на монокристаллах $ZnSe$, отожженных в расплаве индия при температурах 970, 1070, 1120 и 1170 К. Это позволило определить температурную зависимость коэффициента диффузии, представленную на рис. 2. Полученная зависимость $D(T)$ хорошо описывается соотношением

$$D(T) = 8.9 \cdot 10^{-3} \exp\left(-\frac{1.3\theta}{kT}\right), \quad (2)$$

где k — постоянная Больцмана, величина 1.36 в показателе экспоненты выражена в эВ и представляет собой энергию активации про-

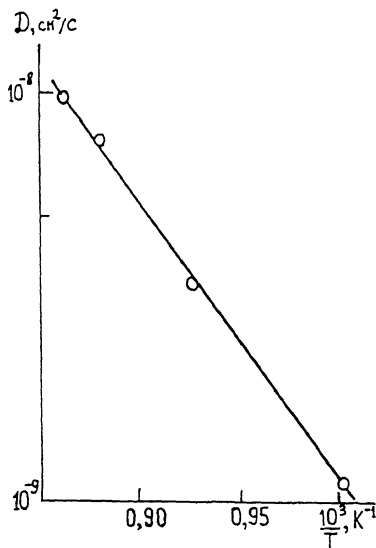


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента диффузии индия в монокристаллах селенида цинка.

процесса диффузии индия в селениде цинка, предэкспоненциальный множитель $8.9 \cdot 10^{-3}$ имеет размерность cm^2/s .

В [2] по измерениям интенсивности катодолюминесценции при различных значениях ускоряющего напряжения получена температурная зависимость коэффициента диффузии индия в $ZnSe$ в интервале 573–1073 в виде

$$D(T) = 4.45 \cdot 10^{-1} \exp\left(-\frac{1.84}{kT}\right). \quad (3)$$

Из сравнения (2) и (3) видно уменьшение энергии активации процесса диффузии индия в $ZnSe$ при высоких температурах отжига, что может быть объяснено следующим образом. Как нами показано в [5], повышение температуры легирования кристаллов приводит к увеличению в них концентрации вакансий цинка. При этом большая часть последних переходит в заряженное состояние (V_{Zn}^- , V_{Zn}^{2-}). Образование отрицательного заряда собственных дефектов стимулирует диффузию доноров, что и определяет экспериментально наблюдаемое уменьшение энергии активации диффузии. В предположении диффузии индия по вакансиям цинка, величина D может быть оценена, согласно [6], следующим образом

$$D = D_V \frac{[V_{Zn}]}{c}, \quad (4)$$

где D_V - коэффициент диффузии вакансий цинка, равный в $ZnSe$ 10^{-6} см²/с [7] при 1120 К, C - общая концентрация примесей. Средняя концентрация индия в исследуемых образцах определена в [8] и составляет $\sim 10^{16}$ см⁻³, а соответствующая величина $[V_{Zn}] = 10^{14}$ см⁻³. С учетом этого, расчет по формуле (4) приводит к величине коэффициента диффузии индия равной 10^{-8} см²/с, что хорошо согласуется с полученным нами значением $D = 6.5 \cdot 10^{-9}$ см²/с.

Таким образом, диффузия индия в монокристаллах селенида цинка в условиях их отжига в расплаве металла осуществляется по катионным вакансиям.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] B j e r k e l a n d H., H o l w e s c h J. // Phys. Norvegica. 1978. V. 6. N 1. P. 139-145.
- [2] T a k e n o s h i t a H., K i d o S., S a w a i K. // Japan J. Appl. Phys. 1986. V. 25. N. 10. P. 1610-1611.
- [3] П е к а Г.П., К о в а л е н к о В.Ф., К у ц е н к о В.И. Люминесцентные методы контроля параметров полупроводниковых материалов и приборов. Киев: Техника, 1986. 152 с.
- [4] S e r d y u k V.V., K o r n e v a N.N., V a k s m a n Y. F. // Phys. Stat. Sol. (a). 1985. V. 91. N1. P. 173-183.
- [5] В а к с м а н Ю.Ф., К р а с н о в А.Н., Р о д р и г е с Х.Ф., С е р д ю к В.В. // В сб.: „Фотоэлектроника“. Киев: Лыбидь. 1992. В. 5. С. 18-29.
- [6] Г у р в и ч А.М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров. М.: Высшая школа, 1982. 376 с.
- [7] Н е д е о г л о Д.Д., С и м а ш к е в и ч А.В. Электрические и люминесцентные свойства селенида цинка. Кишинев: Штиинца, 1984. 142 с.
- [8] Р о д р и г е с Х.Ф. Люминесценция и электропроводность монокристаллов селенида цинка, легированных индием. Дисс. канд. физ.-мат. наук, Одесса, 1989. 132 с.

Одесский
государственный
университет

Поступило в Редакцию
2 июля 1992 г.