

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ GaSe НА ОСНОВЕ ОБЕСКИСЛОРОЖЕННОГО СЕЛЕНА

Д.Ш. АБДИНОВ, З.Ф. АГАЕВ, Т.Д. АЛИЕВА, Н.М. АХУНДОВА, Р.Ю. АЛИЕВ

*Институт Физики
Национальной Академии Наук Азербайджана,
AZ-1143, пр. Г.Джавида, 33*

Приведены результаты по выращиванию монокристаллов GaSe на основе обескислороженного селена. Показано, что в таких кристаллах значения электропроводности (σ), концентрации (n) и подвижность (μ) дырок достигают значений $\sim \sigma = 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$, $\rho = 10^{12} - 10^{13} \text{ см}^{-3}$, $\mu \approx 600 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при $\sim 300 \text{ К}$.

The results on growth of monocrystals GaSe on basis deoxidized selenium are brought up. It is shown, that in such crystals of value of electrical conductivity (σ), concentration (n) and mobility (μ) holes reach values $\sim \sigma = 10^{-4} \Omega^{-1} \text{ sm}^{-1}$, $\rho = 10^{12} - 10^{13} \text{ sm}^{-3}$, $\mu \approx 600 \text{ sm}^2 / \text{V} \cdot \text{c}$ to $\sim 300 \text{ K}$.

Получению и исследованию электрофизических свойств монокристаллов селенида галлия посвящено много работ. Большинство этих работ выполнены сотрудниками Института Физики НАН Азербайджана. Анализ литературных данных показывает, что электрические параметры полученных монокристаллов меняются в широком диапазоне: концентрация дырок от $\sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$ до 10^{15} см^{-3} , подвижность дырок в интервале $60 - 200 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. [1,2]. Причинами этих изменений могут являться неконтролируемые примеси, содержащиеся в исходных компонентах. Так, например, в селене марки В5, содержатся атомы кислорода с концентрацией $\sim 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ [3].

В данной работе синтезированы и выращены соединения GaSe и исследованы их электрические свойства в интервале температур $77 - 300 \text{ К}$. В качестве исходных компонентов использованы галлий чистотой $99,999\%$ и обескислороженный селен марки В5. Селен обескислороживался методом, указанным в [3]. Селен и кислород являются элементами одной группы. Кислород может заместить один или несколько атомов в цепочечной молекуле селена, образуя при этом сложные соединения. При температурах $\sim 800^\circ \text{C}$ все соединения селена, в основном, переходят в SeO_2 , который можно очистить перергонкой в вакууме. В указанном методе во избежание бурного кипения при высоких температурах нагревается не селен, а его пары.

Синтез соединения проводился в высококачественной кварцевой ампуле совместным расплавлением компонентов. Кварцевые ампулы для синтеза и выращивания кристаллов предварительно были графитизированы по внутренней поверхности для предотвращения взаимодействия компонентов и соединений с кварцем. С этой целью откачанные до $\sim 10^{-3} \text{ Па}$ ампулы с компонентами постепенно нагревались до температуры синтеза ($\sim 1030^\circ \text{C}$) с выдержкой по 2 часа при температурах $300, 500, 700, 900^\circ \text{C}$ и 8 часов при $\sim 1030^\circ \text{C}$. Для обеспечения однородности, при проведении синтеза соединений ампулы вместе с нагревателем были подвергнуты постоянному качанию (180 градусов) вокруг оси, проходящей в середине ампулы, перпендикулярной ее длине. После завершения син-

теза ампулы резко охлаждались до комнатной температуры путем опускания их в воду.

Монокристаллы соединений были выращены методом Бриджмена в следующем режиме: установление ампулы с синтезированным материалом в установку для выращивания монокристаллов, постепенное (в течение 4-5 часов) повышение температуры нагревателя установки до температуры $\sim 50 - 60^\circ \text{C}$ выше температуры плавления данного соединения, выдержка расплавленного материала при этой температуре в течение ~ 4 часов. После этой выдержки ампула двигалась вертикально вниз со скоростью $1,8 \text{ мм/час}$. Верхняя часть печи нагревалась на 50 градусов выше температуры плавления вещества, а нижняя на 50 градусов ниже точки плавления. Температурный градиент на фронте кристаллизации составлял $\sim 18 - 20$ град/см. Градиент температуры вдоль расплава поддерживалась постоянной с помощью терморегулятора ВРТ-3.

Однофазность синтезированного слитка и монокристалличность полученных образцов диаметром $\sim 6 \text{ мм}$ и длиной $\sim 2 \text{ мм}$ были подтверждены рентгеноструктурным, а также электронографическим методами, а также измерениями распределения потенциала вдоль слитка. Кроме того, равномерное распределение цвета по плоскостям слоев, отчетливое выявление слоев вдоль слитков, а также легкое отслаивание тонких слоев с почти идеально параллельными поверхностями по базисной плоскости являются признаками однородности и совершенства кристаллов.

Измерялись электропроводность (σ) и эдс-Холла (U_x) зондовым методом при постоянном токе.

Исследования показали, что электропроводность (σ) до $\sim 120 - 130 \text{ К}$ медленно растет, а коэффициент Холла (R_x) уменьшается. Выше этой температуры наблюдается экспоненциальный рост σ и уменьшение R_x . Аналогичная зависимость наблюдается для концентрации дырок, вычисленной из значений коэффициента Холла. Энергия активации электропроводности и концентрации дырок, вычисленные из высокотемпературной части соответствующих графиков составляют $\sim (0,19 - 0,20) \text{ эВ}$.

Значения удельной электропроводности (σ), подвижности (μ) и концентрации (p) носителей заряда для раз-

личных образцов GaSe приведены в таблице. Как следует из таблицы, параметры различных образцов несколько отличаются. Кроме этого приведенные параметры монокристаллов GaSe на основе обескислороженного селена отличаются от параметров этих же кристаллов приведенных в литературе, например концентрация дырок в них меньше, а подвижность больше. Это отличие обусловлено применением нами селена очищенного от примесей кислорода.

В результате, по вышеуказанным технологическим режимам, удалось получить монокристаллы GaSe

с удельной проводимостью (σ), концентрацией (p) и подвижностью (μ) дырок, достигающих значений $\sigma=10^{-4}\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, $p= 10^{12}\text{-}10^{13}\text{см}^{-3}$, $\mu \approx 600 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ соответственно при $\sim 300\text{К}$. Повторяемость параметров от образца к образцу удовлетворительная.

Показано, что температурная зависимость подвижности дырок в монокристаллах GaSe подчиняется закону $\mu \sim T^n$ и дырки до $\sim 180\text{К}$ рассеиваются на ионах примеси, а выше этой температуры от акустических колебаниях решетки.

Таблица

Электрические параметры монокристаллов GaSe полученных на основе обескислороженного селена

T, K	$\sigma, \text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$	$\mu, \text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$	$p, \text{см}^{-3}$
80	$1,8 \cdot 10^{-7}\text{-}1,3 \cdot 10^{-4}$	185-1300	$6,3 \cdot 10^9\text{-}6,0 \cdot 10^{11}$
125	$1,1 \cdot 10^{-6}\text{-}1,6 \cdot 10^{-4}$	550-1250	$1,3 \cdot 10^{10}\text{-}8,0 \cdot 10^{11}$
170	$8 \cdot 10^{-6}\text{-}2,5 \cdot 10^{-4}$	720-1500	$6,9 \cdot 10^{10}\text{-}1,1 \cdot 10^{12}$
200	$6,7 \cdot 10^{-5}\text{-}8,3 \cdot 10^{-4}$	470-1400	$8,9 \cdot 10^{11}\text{-}3,7 \cdot 10^{12}$
286	$3,5 \cdot 10^{-5}\text{-}1,3 \cdot 10^{-3}$	200-600	$1,2 \cdot 10^{12}\text{-}6,0 \cdot 10^{13}$

- [1]. *К.А.Аскеров*. Радиационно-стойкие фотоприемники на основе слоистых полупроводников GaSe, InSe, GaTe. Докт.диссертация. Баку. 2000. 296 с.
- [2]. *Ф.И.Исмайлов*. Равновесные и неравновесные электронные процессы в полупроводниках A^3B^6 и твер-

- дых растворах $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ($0,23 < X < 0,65$). Автореферат докт. дисс. Баку.1996.41 с.
- [3]. *Г.Б.Абдуллаев, Д.Ш.Абдинов*. Физика селена. Баку. Изд. «Элм». 1975. 403 с.

Received:10.02.2007