



Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9
İyun
June 2005
Июнь

səhifə
page 102-104
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ОБЪЕМНОМ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ОКСИДЕ ЦИНКА ПРИ НОРМАЛЬНОМ И ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ.

**КАМИЛОВ И.К.¹, ДАУНОВ М.И.¹, АРСЛАНОВ Р.К.¹, ГАДЖИАЛИЕВ М.М.¹,
КОРТУНОВА Е.В.², ХОХЛАЧЕВ П.П.¹, ШВАНСКИЙ П.П.².**

¹*Институт физики Дагестанского Научного Центра РАН
Россия, 367003, Г. Махачкала, ул. Ярагского, 94
e-mail: arslanov_ras@rambler.ru*

²*Всесоюзный Научно-исследовательский Институт Синтеза Минерального Сырья,
г. Александров, Владимирской обл.*

На объемных монокристаллических образцах n-ZnO, выращенных гидротермальным методом, с концентрацией электронов $10^{13} \div 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ измерены электропроводность σ и коэффициент Холла R_H при атмосферном давлении в интервале температур (77-400) К в зависимости от гидростатического давления до $P=7 \text{ GPa}$ при 300 К. Установлено, что характер кинетических свойств оксида цинка определяется мелким водородоподобным донором, энергия ионизации которого $E_d = (0.052 - 2.76 \cdot 10^{-8} N_d^{1/3} + 0.005P) \text{ eV}$. (P -GPa, N_d - cm^{-3}).

1. ВВЕДЕНИЕ

Наметившийся в последние годы прогресс в росте кристаллов ZnO и их уникальные физические характеристики (высокое значение коэффициента электромеханической связи, большая ширина запрещенной зоны, люминесцентные свойства, радиационная стойкость и др.) [1] делают актуальным исследование электронного спектра и транспорта в этом соединении. Тем не менее, данных о кинетических явлениях, полученных на объемных кристаллах, недостаточно. Следует отметить противоречивость приводимых в литературе величин зонных параметров [1-3]. В частности, значение эффективной массы электронов варьирует от $0.06m_0$ до $0.5m_0$, барический коэффициент ширины запрещенной зоны dE_g/dP - от 6 meV до 20 meV .

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИИ.

В интервале температур (77-400) К на объемных кристаллах n-ZnO с концентрацией примесей $10^{17} \div 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ измерены кинетические коэффициенты: электропроводность σ и коэффициент Холла R_H при атмосферном и гидростатическом до $P=7 \text{ GPa}$ давлениях. Методика и техника эксперимента описаны в [4]. Монокристаллы выращены гидротермальным методом [1] в концентрированных растворах щелочей на моноэдрических затравках при температурах кристаллизации 330-350 °С, давлении 30-50 МПа и прямом перепаде температур 6-20 градусов между камерами роста и растворения автоклава. Длительность цикла выращивания кристаллов 130-150 суток.

Основные характеристики некоторых образцов цинкита приведены в таблице. Результаты эксперимента представлены на рис. 1 - 3.

Таблица

Образцы	$ R_H , \text{ cm}^3/\text{C}$		$\mu_n, \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$		$N_d \cdot 10^{-18} \text{ cm}^{-3}$	$N_a \cdot 10^{-18} \text{ cm}^{-3}$	$E_d, \text{ meV}$
	77.4 К	300 К	77.4 К	300 К			
2.3	42800	350	142	150	0.20	0.164	35.7
2.2	35400	395	155	130	0.27	0.24	30.8
3.1	5994	91	77	105	0.79	0.59	26.4

Известно [1], что характер кинетических свойств оксида цинка определяется мелким водородоподобным донором, уровень энергии которого расположен под дном зоны проводимости на расстоянии $E_d \approx 50$ meV при нормальном давлении [1].

Температурные зависимости холловской подвижности $\mu_H(T)$ в интервале температур (77÷120)K и (250÷400)K, указывает на то, что в первом интервале температур доминирует рассеяние электронов на ионах примеси, а во втором интервале - на колебаниях решетки.

По температурной зависимости коэффициента Холла (рис. 2) и уравнению электронейтральности

$$n + N_a = N_d [1 + \beta^{-1} \exp(\varepsilon_d + \eta)]^{-1} \quad (1)$$

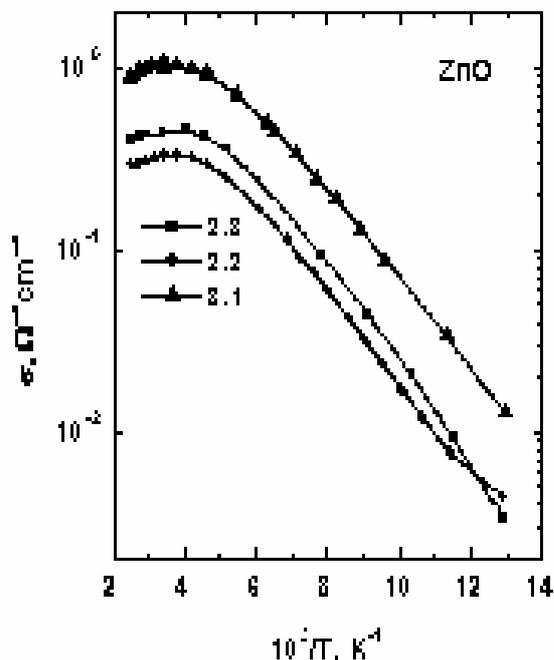


Рис.1. Температурная зависимость электропроводности при атмосферном давлении образцов ZnO.

определены энергия ионизации донорного примесного центра $E_d = (0.052 - 2.76 \cdot 10^{-8} N_d^{1/3})$ eV и концентрации доноров N_d и компенсирующих акцепторов N_a (таблица). Здесь $\varepsilon_d = E_d/k_0T$ и $\eta = E_F/k_0T$ приведенные энергии донорного центра Ферми, k_0 -постоянная Больцмана.

Следует отметить, что в некоторых образцах в области высоких температур наблюдается особенность в зависимости $R_H T^{3/2}$ от $10^3/T$ (рис.3). Это обусловлено наличием еще, по крайней мере, одного уровня, лежащего ниже мелкого донорного уровня, о котором говорилось выше.

Всестороннее давление, вследствие сокращения расстояния между примесными центрами и соответственно возрастания их концентрации N_i - объемно-концентрационный эффект [5], - способствует «металлизации» полупроводников. Однако в полупроводниках значительно сильнее изменяется эффективный боровский радиус.

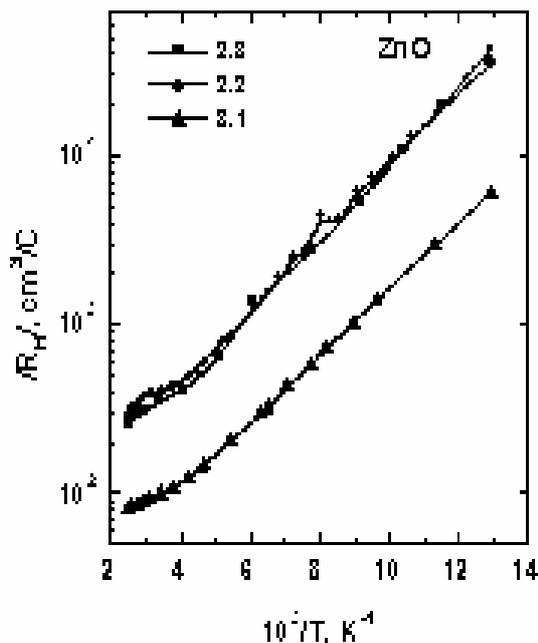


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента Холла при атмосферном давлении образцов ZnO.

На рис. 4 приведены барические зависимости коэффициента Холла, удельного сопротивления и холловской подвижности монокристаллического n-ZnO с $R_H = -25$ cm³/C, $\rho = 0.16$ Ohm-cm и $\mu_H = 156$ cm²/V·s при $T = 300$ K.

По зависимости $R_H(P)$, носящей экспоненциальный характер, выяснено, что этот уровень удаляется от дна зоны проводимости со скоростью $\partial E_d / \partial P = 5$ meV/GPa.

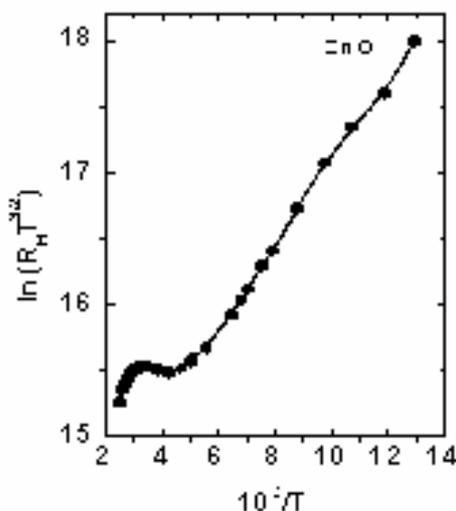


Рис.3. Температурная зависимость коэффициента Холла при атмосферном давлении при $T = 300$ K образца ZnO с $R_H = -1108$ cm³/C, $\rho = 11.1$ Ohm-cm и $\mu_H = 99.8$ cm²/V·s.

Далее по соотношениям: (1) – (5) и по известным значениям [3] $E_g(P=0)=3.25\text{eV}$, $\partial E_g/\partial P=0.02\text{ eV/GPa}$, $B=500\text{ GPa}$ получено $(\partial\chi/\partial P)\cdot\chi^{-1}=-0.029$.

$$E_d = (0.052 + 0.005P)\text{ eV/GPa}, \quad (2)$$

$$m = m(P=0) \cdot [1 + \Delta E_g/E_g], \quad (3)$$

$$(\partial E_d/\partial P) \cdot E_d^{-1} = -2 \cdot (\partial\chi/\partial P) \cdot \chi^{-1} + (\partial m/\partial P) \cdot m^{-1}, \quad (4)$$

$$N_i = N_i(P=0) \cdot (1 + P \cdot B^{-1}), \quad (5)$$

Здесь P – всестороннее давление, m – эффективная масса электронов, χ – диэлектрическая постоянная, B – объемный модуль.

Таким образом, при возрастании давления от нормального до $P=1\text{ GPa}$, борковский радиус убывает на 6.6%, в то время как среднее расстояние между примесными центрами сокращается менее чем на 0.1% (объемно-концентрационный эффект [5]), т.е. имеет место выраженная тенденция к локализации электронов на мелких донорах с ростом давления.

$$a_B = a_{B0} \cdot \left[\left(1 + \left(d\varepsilon_g/dP \right) \cdot P/\varepsilon_{g0} \right) \cdot \left(1 + \Theta P/\varepsilon_{g0} \right) \right]^{-1} \quad (6)$$

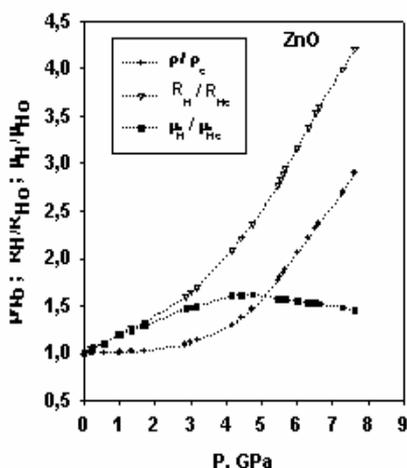


Рис. 4. Зависимости нормализованного удельного сопротивления, коэффициента Холла и холловской подвижности от давления при $T = 300\text{ K}$ образца ZnO с $R_H=-25\text{ cm}^3/\text{C}$, $\rho=0.16\ \Omega\cdot\text{cm}$ и $\mu_H=156\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$.

Этот эффект особенно сильно проявляется в алмазоподобных прямозонных с кейновским законом дисперсии узкозонных полупроводниках n -типа III–V InSb , InAs и II–IV–V₂ CdSnAs_2 , CdGeAs_2 . В этих полупроводниках с учетом полученной экспериментально барической зависимости диэлектрической проницаемости $\chi(P)$ [6]

Здесь $\Theta=0.025\text{ eV/GPa}$, значок «0» соответствует атмосферному давлению. Согласно (6) в $n\text{-InSb}$, например, при увеличении давления до 1 GPa a_B убывает в 1.9, пороговая величина концентрации доноров $N_i^{(M)}$ перехода металл - диэлектрик (переход Мотта) возрастает в 7 раз, энергия основного состояния донора возрастает более чем в 2 раза. При определенном уровне легирования и компенсации вследствие эффекта «барического вымораживания» (аналог магнитного «вымораживания») носителей заряда на примесные центры, может наблюдаться фазовый переход металл-диэлектрик, а также переход от состояния сильного легирования к состоянию слабого легирования.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Выяснено на примере цинкита, что воздействие всестороннего давления, несмотря на сближение примесных центров, приводит к локализации электронов в прямозонных полупроводниках, т.е. наблюдается специфический эффект барического вымораживания электронов (аналог магнитного вымораживания). Тенденция к локализации электронов с увеличением давления должна быть существеннее в узкозонных прямозонных с кейновским законом дисперсии полупроводниках из-за возрастания эффективной массы электронов.

Значительно меньшая величина коэффициента давления донорного уровня ZnO (5 meV/GPa) в сравнении с барическим коэффициентом ширины запрещенной зоны (20 meV/GPa [3]) означает, что этот примесный центр является мелким водородоподобным донором [7, 8].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. (Проект № 05-02-16608).

[1]. И.П. Кузьмина, В.А. Никитенко. Окись цинка. Наука, М. (1984). 164с.
 [2]. Справочник. Физико–химические свойства полупроводниковых веществ. Наука. М. (1979). 340с.
 [3]. П.Ю.М. Кардона. Основы физики полупроводников. Физматлит. М. (2002). 560с.
 [4]. А.Ю. Моллаев, Р.К. Арсланов, М.И. Даунов, Л.А. Сайпулаева. ФТВД. **13**, №1. 29 (2003).

[5]. М.И. Даунов, А.Б. Магомедов, А.Э. Рамазанова. ФТП. **19**, 5. 936 (1985).
 [6]. М.И. Даунов, А.Б. Магомедов, А.Э. Рамазанова. Изв. Вузов. Физика, **98** (1986).
 [7]. М.И. Даунов, И.К. Камиллов, С.Ф. Габиров. ФТП. **35**, 1, 59 (2001).
 [8]. M.I. Daunov, I.K. Kamilov, S.F. Gabibov, R.Rh. Akchurin. Phys. Stat. Sol. (b) **223**, 1-2, 529 (2001).