

ЭЛЕКТРОННЫЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В КОНТАКТЕ МЕТАЛЛ - $Pb_{1-x}Mn_xTe$

Т.Д. АЛИЕВА¹, Н.М. АХУНДОВА²

¹Институт Физики им. Г.М. Абдуллаева НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан
²Азербайджанский Государственный Экономический Университет, Баку, Азербайджан
tunzalaaliyeva@mail.ru

В формировании контакта $PbTe$ и $Pb_{1-x}Mn_xTe$ со сплавом мас. % 95In +4Ag+1Au решающую роль играют процессы диффузии атомов Ag в приконтактную область и образование металлических шунтов за счет осаждения ингредиентов контактного сплава на несовершенствах кристалла в приконтактной области, закорачивающие слой объемного заряда. Протекание тока в этом контакте соответствует механизму по металлическим шунтам.

Ключевые слова: твердый раствор, контактный сплав, омический контакт, металлические шунты, отжиг.

PACS: 73.20.-г.85.40.Sz,85.30.Hi

ВВЕДЕНИЕ

Параметры полупроводниковых приборов определяются и свойствами контакта металл-полупроводник, являющихся их важнейшими элементами. Из-за различия электрохимических потенциалов полупроводника и металла на их контакте возникает потенциальный барьер, высота которого определяется разностью сродства электронов в полупроводнике и работой выхода электронов из металла. Результаты последующих исследований показывают, что свойства контактов металл-полупроводник определяются также поверхностными состояниями, возникающими в полупроводнике, взаимной диффузией и химическим взаимодействием ингредиентов контактирующих веществ и т.д.

В литературе основное внимание уделялось исследованию свойств контактов на кристаллах кремния и соединений A^3B^5 . Свойства контактов других материалов электронной техники, в том числе $PbTe$ и его твердых растворов с металлами, исследованы недостаточно.

Теллурид свинца и его твердые растворы типа $Pb_{1-x}Mn_xTe$ являются перспективными среднетемпературными термоэлектриками и фоточувствительными материалами в области спектра 3-5 мкм. Это делает необходимым изучение свойств контактов структур на основе $PbTe$ и $Pb_{1-x}Mn_xTe$.

В данной работе исследованы электрические и адгезионные явления на границе раздела $PbTe$ и $Pb_{1-x}Mn_xTe$ с эвтектикой мас. % 95In +4Ag+1Au в

интервале 77-300К. Кристаллические прутки $PbTe$ и $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($0,0025 \leq x \leq 0,04$) были получены методом горячей экструзии.

Электрические свойства контактов исследовались на структурах кристалл-контактный сплав-кристалл. Структуры были изготовлены из образцов кристаллов, не прошедших термообработку после экструзии и из кристаллов, прошедших термообработку в атмосфере аргона при 693К в течение 120 часов.

Контактное сопротивление r_k структуры и электрическое сопротивление кристаллов ρ измеряли зондовым методом [1], адгезионную прочность. Ап определяли методом отрыва [2], а работу адгезии A_a вычисляли из измеренных значений поверхностного натяжения σ_n и краевого угла смачивания θ . Исследовано также влияние отжига при 383 К на свойства структур.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице приведены данные по зависимости ρ кристаллов $Pb_{1-x}Mn_xTe$ и r_k контактов структур на их основе при 77 и 300 К от концентрации марганца и отжига. Видно, что для всех составов отжиг приводит к росту проводимости кристаллов до 100 раз. Холловские данные показали, что уменьшение ρ образцов с отжигом обусловлено ростом подвижности (до 40 раз) и концентрации (до ~25) носителей тока. При отжиге происходит уменьшение

Таблица.

Удельное сопротивление ($\rho, \text{Ом}\cdot\text{см}$) экструдированных образцов $Pb_{1-x}Mn_xTe$ и контактное сопротивление ($r_k, \text{Ом}\cdot\text{см}^2$) структур на их основе

x	~77К		~300К		~77К		~300К	
	$\rho(I)$	$r_k(I)$	$\rho(I)$	$r_k(I)$	$\rho(II)$	$r_k(II)$	$\rho(II)$	$r_k(II)$
0	$2,6 \times 10^{-3}$	$7,5 \times 10^{-4}$	$9,0 \times 10^{-3}$	$4,1 \times 10^{-3}$	$9,3 \times 10^{-5}$	$5,46 \cdot 10^{-4}$	$9,3 \times 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
0.0025	$5,0 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-3}$	$3,8 \times 10^{-4}$	$6,9 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$1,45 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$
0.005	0,16	$8,1 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$8,9 \times 10^{-3}$	$6,3 \times 10^{-4}$	$2,04 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-3}$
0.04	76,9	5,84	$3,2 \times 10^{-1}$	$5,6 \times 10^{-2}$	0,65	2,1	1,43	$2,3 \cdot 10^{-3}$

концентрации структурных дефектов в образце, возникающих при деформации в процессе синтеза и экструзии, что сопровождается ростом подвижности

носителей тока. Отжиг при 690 К может сопровождаться и улутучиванием избыточных атомов теллура в образце, что приводит к уменьшению

концентрации носителей тока. В структурах на основе неотожженных кристаллов в зависимости от концентрации Mn при 77К r_k меняется от $7,5 \cdot 10^{-4}$ Ом·см² для PbTe до $5,84$ Ом·см² для $Pb_{1-x}Mn_xTe$ с $x=0,04$, а при 300 К соответственно от $4,1 \cdot 10^{-3}$ Ом·см² до $5,6 \cdot 10^{-2}$ Ом·см². При этом зависимость r_k структур от температуры хорошо коррелируется с таковым для ρ использованных в структуре кристаллов. После отжига структур при 383 К в течение 500 ч значения их r_k существенно уменьшаются. При 77К и 300К для структур на основе состава с $x= 0,04$ r_k составляют $3,4 \cdot 10^{-3}$ и $8,38 \cdot 10^{-3}$ Ом·см².

На рис. представлены зависимости r_k структур на основе отожженных образцов кристаллов PbTe и $Pb_{1-x}Mn_xTe$ до и после отжига при ~383 К. Видно, что во всех случаях r_k с температурой растет.

Основными механизмами протекания тока в омическом контакте являются [3]: Полевая эмиссия (в этом случае r_k не зависит от температуры), термоэлектронная эмиссия (r_k уменьшается с ростом температуры), термополевая эмиссия (r_k слабо уменьшается с ростом температуры).

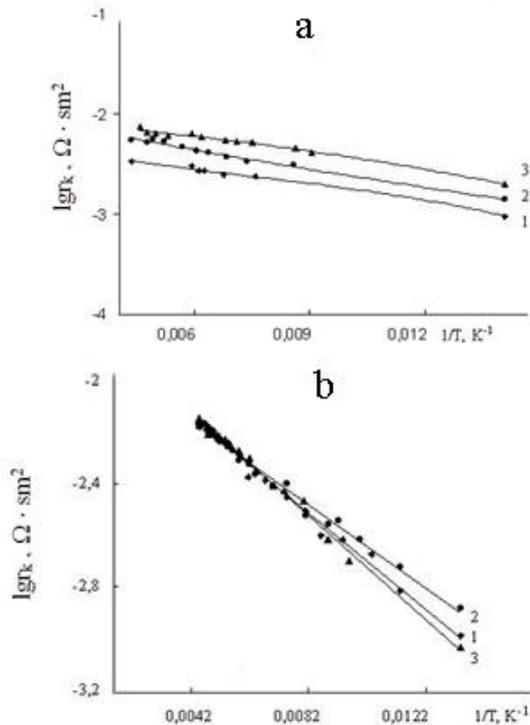


Рис. Зависимости сопротивления контактов структур на основе неотожженных (а) и отожженных (в) образцов от температуры. Кривые 1,2,3 соответствуют образцам с $x=0; 0,0025$ и $0,005$ соответственно.

В сплавных омических контактах металл-полупроводник, когда в процессе создания контакта происходит растворение полупроводника в металле и рекристаллизация, может проявляться еще один механизм протекания тока - по металлическим шунтам [3]. Эти шунты представляют собой атомы металла, осажденные по линиям несовершенств.

Анализ данных, представленных в таблице, и рисунка показывает, что в контактах структур $Pb_{1-x}Mn_xTe$ -контактный сплав механизм протекания

тока соответствует механизму протекания тока по металлическим шунтам. Такие шунты образуются в процессе нанесения сплава $In + Ag + Au$ на торцы образцов из PbTe и $Pb_{1-x}Mn_xTe$.

Измеренное значение σ_n состава мас. % 95In + 4Ag + 1Au составляли ~ 430 мН/м при 473К, θ для кристаллов с $x=0; 0,0025; 0,005$ и $0,04$ - 15, 18, 22 и 30° соответственно. Значения работы адгезии, вычисленные из $Aa = \sigma_n (1 + \cos\theta)$ для указанных составов составляли ~ 847, 838, 829, 804 мДж/м² соответственно. Адгезионная прочность контактов оказалась в пределах 5,5-10,5 кГ/см² и после отжига структур увеличивалась на ~ 10-15%.

Коэффициенты диффузии (D_0 и E_D) атомов In, Ag и Au в PbTe не исследованы. В случае PbSe эти коэффициенты составляют $D_0(In) = 9 \cdot 10^{-5}$; $D_0(Ag) = 7,4 \cdot 10^{-4}$, $D_0(Au) = 5,6 \cdot 10^{-2}$ см²/с; $E_D(In) = 1,35$; $E_D(Ag) = 0,35$; $E_D(Au) = 0,75$ эВ. Если предположить, что аналогичная последовательность будет сохраняться и в образцах соединения PbTe, то можно считать, что атомы Ag обладают более благоприятными условиями при диффузии в PbTe. Поэтому приконтактный слой кристалла, в основном, обогащается атомами Ag, которые являются акцепторными примесями в PbTe и способны увеличивать концентрацию дырок до $1,5 \cdot 10^{20}$ см⁻³. Сказанным, в первую очередь, обусловлено уменьшение r_k структур после термообработки.

При нанесении сплава на торцы $Pb_{1-x}Mn_xTe$ может происходить и образование промежуточных фаз за счет взаимодействия атомов In и Ag со свободными атомами Te, существующих в PbTe сверхстехиометрии. Этому способствуют, в основном, два фактора: во-первых, электроотрицательность In (1,5) и Ag (1,7) ниже, чем Pb (1,8) и Au (2,1); во-вторых, энергия Гиббса ΔG^0 реакции $Ag + Te$ или $In + Te$ отрицательная. Расчет энергии Гиббса реакции, вычисленной по [4] для реакции



отрицательное и равно 42 кДж/моль.

Образование на границе раздела PbTe - контактный сплав промежуточных фаз типа низкоомного Ag_2Te также приводит к уменьшению r_k .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выяснено, что отожженные структуры $Pb_{1-x}Mn_xTe$ - (мас. % 95In + 4Ag + 1Au) имеют достаточно низкоомные и механически прочные переходные контакты, и протекание тока в этом контакте соответствует механизму по металлическим шунтам. При этом в формировании контакта металл-полупроводник в указанных структурах решающую роль играют процессы диффузии Ag в приконтактную область и образование металлических шунтов за счет осаждения атомов In, Ag, Au на несовершенствах кристалла в приконтактной области, закорачивающие слой объемного заряда.

- [1] *Т.Д.Алиева, Г.Д.Абдинова, Н.М.Ахундова, С.З.Джафарова*, Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy, 2011, XXX1, 2, с.126-130
- [2] *Т.И.Алиева, Я.С.Фейзиев, З.Ф.Агаев, Д.Ш.Абдинов*, Заводская лаборатория, 1992, 52, с.46-47
- [3] *Т.Б.Бланк, Ю.А.Гольдберг*, ФТП, 2007, т.41, в.11, с.1281-1308
- [4] *Б.Ф.Ормонт*. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. М.: Высшая школа, 1968, 483с