

UDK 621.315.592

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА КРИСТАЛЛОВ $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ С КОНТАКТНЫМИ СПЛАВАМИ

Т.Д.АЛИЕВА, Г.ДАБДИНОВА, Н.М.АХУНДОВА*, Д.ШАБДИНОВ

Институт Физики ИАН Азербайджана

AZ 1143, г.Баку, пр. Г.Джавида, 131

*Азербайджанский Государственный Экономический Университет**

AZ 1001, г. Баку, ул. Истиقلالат, 6

tunzalaliyeva@mail.ru

Получена: 14.12.2020
Принята к печати: 25.02.2021

РЕФЕРАТ

Исследованы электрические и адгезионные явления, а также процессы взаимной диффузии ингрэдентов кристаллов $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ и контактных сплавов в контакте $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ -контактный сплав. Показано, что при резке слитков кристаллов твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ на образцы на поверхностях среза возникает нарушенный по составу и структуре слой толщиной ~15мкм с проводимостью отличной от проводимости кристалла. При нанесении на торцы образцов кристаллов контактного сплава происходит взаимная диффузия и химическое взаимодействие атомов элементов, входящих в состав контактного материала и кристалла, в результате чего образуются различные по составу и свойствам промежуточные фазы. Оба фактора существенно влияют на электрические и адгезионные свойства границ раздела кристалл-контактный сплав. Наблюдается удовлетворительная корреляция между электрическими параметрами контактов и предполагаемых промежуточных фаз.

определяется и сопротивлением коммутационных контактов η [2]

$$Z_p = \frac{\sigma^2}{\chi} \frac{1}{(1 + \frac{\chi}{\sigma l})^2}$$

где l - длина ветвей.

Видно, что для достижения высокого значения Z_p необходимо иметь достаточно низкое значение χ . При этом, с уменьшением длины ветвей роль χ в эффективности термоэлектрического прибора растет.

Из-за различия электрохимических потенциалов полупроводника и металла на их контакте возникает потенциальный барьер. В идеальном случае высота барьера определяется разностью энергии средотая электронов в по-

лупроводнике и работы выхода электронов из металла. Однако, впоследствии, выяснили, что свойства границы раздела металл-полупроводник не описываются такой простой моделью, необходимо также учитывать, возникающие в полупроводнике поверхностные состояния, взаимную диффузию контактирующих веществ и их химическое взаимодействие с образованием на границе новых химических соединений [4-7]. Кроме этого, контактный материал должен в расплавленном состоянии хорошо смачивать полупроводниковый (в частности, термоэлектрический) материал, иметь достаточно высокую работу адгезии с поверхностью полупроводника, не образовывать с компонентами полупроводника соединений, обладающих большим омическим сопротивлением, а также при диффузии в полупроводнике не создавать примесные уровни, сильно изменяющие концентрацию основных носителей тока [6,8,9].

Вышеуказанные факторы можно варьировать обработкой поверхности полупроводника различными способами, подбором контактного сплава различных составов, выбором технологии создания контактов, термообработки и т.д.

С целью выяснения роли поверхностного нарушенного слоя, образующегося на поверхности образцов при их резке из слитков кристаллов твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$, взаимной диффузии и химического взаимодействия ингрэдентов контактного материала и кристалла в данной работе исследованы электрические и адгезионные явления, а также процессы взаимной диффузии компонентов на границе раздела кристаллов с контактными сплавами (мас. %): 57Bi+43 (сплав 1), 50Bi+25Pb+25Sn (сплав 2), 25Bi+50Pb+12.5Cd+12.5Sn (сплав 3), применяющихся при изготовлении термоэлементов на основе этого твердого раствора, в зависимости от предварительной обработки поверхностей образцов. Температура плавления указанных сплавов составляла ~412, 370 и 343К, соответственно.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Синтез твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ проводили прямым сплавлением компонентов высокой чистоты в соответствующих соотношениях в откачанных до 10^{-5} Па и запаянных кварцевых ампулах при ~970К. Из синтезированного материала методом Бриджмена получены кристаллические слитки твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$. Образцы вырезали из кристаллических слитков методом электроэрозионной резки. Контакты создавали методом залуживания. Границы раздела (взаимная диффузия компонентов, толщина и состав образовавшихся промежуточных фаз) кристаллов твердого раствора с указанными контактными сплавами исследованы методом локального рентгеноспектрального микроанализа с применением микроанализатора Cameca-MS-46. Использовался также микроскоп "Метам-РМ" с увеличением в 500 раз. Глубина нарушенного слоя на поверхности среза образцов кристаллов оценивалась из зависимости скорости травления от времени, а характер структуры нарушенного слоя исследовался рентгенографическим методом. Адгезионную прочность определяли методом отрыва [10,11], работу адгезии A_a вычисляли из измеренных значений поверхностного натяжения σ_a (по методу [12]) и краевого угла смачивания θ (по методу "лежашей капли" [13]) по формуле

$$A_a = \sigma_a (1 + \cos \theta).$$

Электрические параметры образцов измеряли зондовым методом [14], а поверхностная проводимость σ , измерялась методом клина [15].

Измерения указанных параметров проводили на образцах непосредственно после их резки из слитков и на этих же образцах после обработки их поверхностей химическим (в растворе $\text{HCl}:\text{HNO}_3$ (1:1) в течение 30 секунд при температуре ~25°C) или электрохимическим (в растворе $\text{NaOH}:\text{CaI}_2\text{O}_6:\text{H}_2\text{O}$ при ~25°C в течение ~50 секунд и плотности тока ~1А/см²) травлением.

Ключевые слова: кристалл, граница раздела, поверхностная проводимость, промежуточная фаза, адгезия.

ВВЕДЕНИЕ

Кристаллы твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ широко применяются при создании термоэлектрических преобразователей [1-3]. Важнейшим элементом этих приборов является контакт металл-полупроводник. Однако свойства контактов кристаллов $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ с металлическими контактными сплавами исследованы недостаточно.

В реальных термоэлементах термоэлектрическая эффективность Z_p , помимо фундаментальных параметров (коэффициент термоэд α , теплопроводность χ , удельное сопротивление ρ) полупроводникового материала, из которого изготовлены ветви термоэлементов,

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные данные представлены на рис.1, Рис. 2 и в Таблице.

Видно, что температурная зависимость поверхностной проводимости σ_s необработанных образцов кристаллов $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ достаточно сложная и сильно отличается от таковых для обработанных образцов (Рис.1). Исследована также температурная зависимость поверхностной проводимости естественной (истинной) поверхности кристаллов твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$. Естественные поверхности кристаллов были получены методом скалывания монокристаллических слитков твердого раствора и эти поверхности после скалывания не обрабатывались.

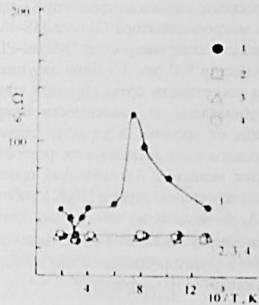


Рис.1

Температурная зависимость поверхностной проводимости образцов, выращенных из кристаллов $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$.

После обработки поверхности электрохимическим или химическим травлением σ_s во всем интервале температур в несколько раз уменьшается, становится почти независимой от температуры и почти одинаковой с σ_s (Т) естественной поверхности кристаллов. Эти данные дают основание предполагать, что специфическая температурная зависимость σ_s в необработанных образцах обусловлена поверхностным слоем, возникающим при резке образцов из слитков. Нужно отметить, что

температурная зависимость σ_s образцов во всех случаях носит обратимый характер. Это говорит о том, что наблюдаемые особенности σ_s обусловлены электронными процессами в поверхностном слое реза образца $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$.

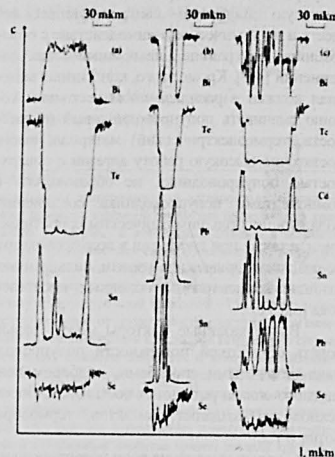


Рис.2

Кривые распределения компонентов кристаллов $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ и контактных сплавов (мас.%) 57Bi+43Sn (а), 50Bi+25Pb+25Sn (б) и 25Bi+50Pb+12,5Cd+12,5Sn (с) в структуре кристалл-контактный сплав-кристалл.

Исследована структура и глубина нарушенного слоя, возникающего на поверхности образца $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ в процессе электроэрозионной резки. Глубина нарушенного слоя оценивалась из зависимости скорости электрохимического травления в растворе $\text{H}_2\text{O}+\text{NaOH}+\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_6$ от времени. Характер структуры нарушенного слоя исследовался рентенографически при съемке неподвижного образца на отражение в камере РКСО в излучения трубки с медным антиматодом; глубина полупоглощающего слоя ~ 15 мкм.

Таблица

Зависимости поверхностного натяжения σ_n (МДж/м²), краевого угла смачивания θ (град.), работы адгезии A_d (МДж/м²) и переходного сопротивления контактов ρ_t (10^{-4} Ом см²) от температуры, способов предварительной обработки торцов кристаллов $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ и состава контактных материалов (сплавы 1, 2, 3).

Т, К	σ_n	Электрохимическое травление			Химическое травление		
		θ	A_d	ρ_t (пр. ток)	θ	A_d	ρ_t (пр. ток)
Контактный материал на основе системы Bi-Sn (сплав 1)							
413	409	32	756	-	27	769	-
433	409	16	800	-	18	796	-
453	413	15	813	1,3	16	807	0,6
473	413	13	814	-	16	808	-
493	414	13	815	-	15	809	-
Контактный материал на основе системы Bi-Sn-Pb (сплав 2)							
333	463	59	709	-	77	538	-
398	464	36	884	-	47	774	-
413	465	19	903	4,7	25	884	4,4
433	470	17	917	-	25	893	-
453	471	17	919	-	25	894	-
Контактный материал на основе системы Bi-Pb-Cd (сплав 3)							
353	415	54	639	-	68	564	-
373	416	28	780	-	31	769	-
393	420	21	809	11,3	25	796	14,5
413	421	21	810	-	25	798	-
433	425	21	813	-	25	801	-

Опыты показали, что при электроэрозионной резке кристаллов твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ на образцы на поверхности среза возникает нарушенный слой толщиной 10-15 мкм. Этот нарушенный слой состоит, в основном, из двух отличающихся по составу подслоев: подслоя, образующегося за счет плавления и частичного стгорания полупроводникового материала при резке и закалки жидкой фазы сильно загрязненного продуктами электрода и диэлектрической среды и подслоя, образующего за счет деформации поверхности образца при резке, приводящего к фрагментации кристаллитов, изгибу атомных плоскостей и образованию поликристаллических участков на поверхности монокристалла.

В Таблице представлены данные зависимости коэффициента поверхностного натяжения σ_n , краевого угла смачивания θ , работы адгезии A_d и сопротивления контакта ρ_t на границе раздела контактный сплав- $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ от способа предварительной обработки поверхности кристалла, состава контактного материала и температуры.

Видно, что краевой угол смачивания θ с ростом температуры сначала быстро падает и при температурах на 20-40 градусов выше температуры плавления данного контактного материала почти не зависит от температуры. С ростом температуры растет и работа адгезии. Кроме того, для каждого контактного сплава наблюдается корреляция между ρ_t и θ , A_d . С уменьшением θ , а также с ростом A_d контактное сопротивление уменьшается. Корреляция между ρ_t и θ , в общих чертах, сохраняется и при переходе от одного контактного материала к другому. Однако при переходе от одного состава контактного материала к другому корреляция между ρ_t и θ нарушается. Это обусловлено разным влиянием диффундирующих атомов компонентов контактных материалов на электрические свойства приконтактной области кристаллов твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$.

Измеренная адгезионная прочность контактов $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}_3$ со сплавами 1, 2, 3 при ~ 300 К составляла $\sim 69, 56$ и 43 кГ/см², соответственно.

При создании контактов контактный сплав- Bi_2Te_3 методом залуживания одновременно происходит растворение кристалла в расплаве контактного материала, диффузия ингредиентов расплава контактного материала в приконтактную область кристалла и реакции, приводящие к образованию новых промежуточных фаз на границе раздела.

На Рис.2 приведены характерные диаграммы, иллюстрирующие изменения распределения составляющих элементов матрицы кристалла ($\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SeO}_3$)-Bi, Te, Se и контактного материала (сплавы 1, 2, 3) - Bi, Pb, Sn и Cd на границе раздела $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SeO}_3$ -контактный материал-Bi $\text{Te}_3\text{-SeO}_3$.

Из Рис.2 следует, что для контакта кристалла $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SeO}_3$ со сплавом 3 характерна почти полная локализация атомов кадмия непосредственно вблизи границы раздела кристалл-контактный материал.

Кроме этого, в переходной зоне кристалл-сплав 3 есть атомы теллура и селена, которые не входят в состав сплава 3. Это указывает на возникновение в переходной зоне, в результате реакционной диффузии, прослоек соединений (промежуточной фазы) типа CdTe, CdSe толщиной 12-16мкм.

Анализ диаграммы в случае контакта твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SeO}_3$ со сплавом 2 показывает, что здесь вблизи границ раздела образуются прослойки промежуточной фазы PbTe и PbSe толщиной 12-14мкм. В контакте со сплавом 2 атомы свинца преимущественно локализуются непосредственно вблизи границы раздела, а атомы висмута и олова распределяются в средней части контактного слоя.

Вблизи границ раздела $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SeO}_3$ со сплавом 1 образуются промежуточные фазы SnTe толщиной 12-14мкм. Кроме этого, диффундирующий из кристаллов вглубь контактного материала селен образует также фазу соединения SnSe с толщиной 10-12мкм, хотя количество его очень мало по сравнению с SnTe.

Из сравнения этих данных со значениями электроотрицательности атомов компонентов кристаллов и контактных материалов [16] следует, что при контакте расплава многокомпонентного материала с кристаллом $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SeO}_3$,

в первую очередь, происходит взаимодействие химически более активного элемента контактного материала с атомами теллура и селена, входящими в состав кристалла.

Образуются вышеуказанные промежуточные фазы имеют разные электрические (тип проводимости, концентрация носителей тока, удельное сопротивление) и адгезионные параметры, что определяет электрические и адгезионные свойства границ раздела кристаллов $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SeO}_3$ с рассматриваемыми контактными сплавами. Удельное сопротивление предполагаемых промежуточных фаз CdTe, CdSe (сплав 3), PbTe, PbSe (сплав 2) и SnTe, SnSe (сплав 1) при $\sim 300\text{K}$ находится в пределах $10^2 \pm 10^4$, $\sim 10^2$ и $\sim 10^4$ Ом·см, соответственно [17-20]. Контактное сопротивление при этом, в случае электрохимического травления, составляет при $\sim 300\text{K}$ $11,3 \cdot 10^{-6}$ Ом·см 2 ; $4,7 \cdot 10^{-6}$ Ом·см 2 и $1,3 \cdot 10^{-6}$ Ом·см 2 , соответственно, а в случае химического травления $14,5 \cdot 10^{-6}$ Ом·см 2 ; $4,4 \cdot 10^{-6}$ Ом·см 2 и $0,6 \cdot 10^{-6}$ Ом·см 2 , соответственно. Видно, что действительно наблюдается хорошая корреляция между удельным сопротивлением ρ предполагаемых промежуточных фаз и контактным сопротивлением ρ_c границы раздела кристаллов $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SeO}_3$ со сплавами 1, 2, 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выяснено, что при электроэрозивной резке слитков монокристаллов твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SeO}_3$ на образцы на поверхностях среза возникает нарушенный по составу и структуре слой толщиной до 15мкм. При нанесении на торцы образцов кристаллов контактного сплава происходит взаимная диффузия и химическое взаимодействие ингредиентов контактного материала и кристалла, в результате чего образуются промежуточные фазы типа CdTe, CdSe, PbTe, PbSe, SnTe, SnSe. Наблюдается корреляция между параметрами ρ_c и θ_c контактов. Удовлетворительно коррелируются также ρ_c и электрические сопротивления, образовавшихся на границе раздела промежуточных фаз.

1. Б.М.Гольман, В.А.Кулинов, И.А.Смирнов. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 , М., Наука (1972) 320.
2. А.Л.Вайнер. Каждая термоэлектрическая источник холода. М., Сов.радио, (1976) 137.
3. Л.Д.Иванова, Л.И.Петрова, Ю.В.Гранаткина, В.С.Земсков, О.Б.Соколов, С.Я.Скопидаров, Н.И.Дуванков. Экструдированные термоэлектрические материалы на основе твердых растворов системы $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$, *Неорг.материалы*, 45 (2009) 159-164.
4. Э.Х.Родерик. Контакты металл-полупроводник, М., Радио и связь, (1982) 208.
5. В.И.Стафеев. Структура и свойства контактов $\text{CdTe}/\text{Ge}_2\text{Te}_3\text{-металл}$, *ФТП*, 42 (2008) 636-639.
6. Т.Д.Алиева, Г.Дж.Абдинова, Н.М.Ахундова, Р.А.Исмаилова, Д.Ш.Абдинов. Физико-химические процессы на границе раздела некоторых полупроводниковых твердых растворов с контактными сплавами, *ЖФХ*, 83 (2009) 2336-2338.
7. Т.Д.Алиева, Г.Дж.Абдинова, Н.М.Ахундова, Д.Ш.Абдинов. Адгезионные и электрические свойства границы раздела кристаллов $\text{Pb}_2\text{Mn}_3\text{Te}_7$ со сплавом In-Ag-Au , *ЖФХ*, 82 (2008) 2185-2186.
8. Т.Д.Алиева, Г.Дж.Абдинова, Н.М.Ахундова, Д.Ш.Абдинов. Зависимость сопротивления переходного контакта твердых растворов кристалла $\text{Bi}_2\text{Sb}_3\text{Te}_3$ и $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-SeO}_3$ со сплавом Bi-Sn от сопротивления приконтактного слоя, *Неорг.материалы*, 32 (1996) 684-686.
9. Т.И.Алиева, Я.С.Фейзинов, Ф.Г.Мусаев, Г.М.Алиев, Д.Ш.Абдинов. Сопротивление и адгезионная прочность переходных контактов на границах раздела монокристаллов твердых растворов систем $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$ и $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$ со слоями Ni и с эпитаксиальной системой Bi-Sn , *Неорг.материалы*, 26 (1990) 716-718.
10. А.А.Углов, Л.И.Анпиченко, С.Я.Кузнецов. Адгезионная способность пленок, М., Радио и связь, (1987) 104.
11. Т.И.Алиева, Я.С.Фейзинов, З.Ф.Агаев, Д.Ш.Абдинов. Метод определения температурной зависимости адгезионной прочности термоэлектрических материалов с коммутационными сплавами, *Заводская лаборатория*, 52 (1992) 46-47.
12. П.И.Путачевич, О.А.Тимофеевичева. Экспериментальное исследование кинетического напряжения амальгам катод, *Доклады АН СССР*, 59 (1951) 648-654.
13. А.И.Бельцев, Е.А.Жемружина. Поверхностные явления в металлургических процессах, М.: Металлургия, (1962) 143.
14. Т.Д.Алиева, Г.Дж.Абдинова, Н.М.Ахундова, С.З.Джафарова. Механизм протекания тока в контакте $\text{(In-Ag-Au-Pb)}_2\text{Mn}_3\text{Te}_7$, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, XXXI №2 (2011) 126-130.
15. Н.Р.Рубинштейн, В.И.Фистуль. Определение поверхности проводимости кристаллов методом "клин", *Докл. АН СССР*, 125 (1959) 542-545.
16. Б.Ф.Ормонт. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников, М., Высшая школа, (1968) 483.
17. Г.А.Ахмедова, Г.Дж.Абдинова, Д.Ш.Абдинов. Влияние отжига на электрические свойства монокристаллов PbTe, легированных теллуром, *ФТП*, 45 (2011) 149-151.
18. Д.М.Чижиков, В.П.Счастливый. Теллур и теллуриды, М., Наука, (1966) 279.
19. И.П.Каливин, В.Б.Александровский, А.В.Симакичев. Эпитаксиальные пленки соединений A^nB^m , Л., Изд. Ленинградского Университета, (1978) 31-33.
20. Г.З.Багиева, Г.Дж.Абдинова, Н.Б.Мустафаев, Д.Ш.Абдинов. Влияние отжига на электрические свойства кристаллов SnTe, *Неорг.материалы*, 53 (2017) 351-353.

**ELECTRICAL PROPERTIES OF THE INTERFACE CRYSTALS
 $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ WITH CONTACT ALLOYS**

T. D. ALIYEVA, G. D. ABDİNOVA, N. M. AKHUNDOVA, D. Ş. ABDİNOV

Electrical and adhesive phenomena, as well as the processes of mutual diffusion of the ingredients of $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ crystals and contact alloys in the contact $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ -contact alloy have been investigated. It was shown that when cutting ingots of $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ solid solution crystals on samples, a damaged layer with a thickness of $\sim 15\mu\text{m}$ with a conductivity different from that of the crystal appeared on the cut surfaces. When applied to the ends of samples of crystals of a contact alloy, mutual diffusion occurred and the chemical interaction of the atoms of the elements that make up the contact material and the crystal, as a result of which intermediate phases of different composition and properties were formed. Both factors significantly affected the electrical and adhesive properties of the crystal-contact alloy interface. There was a satisfactory correlation between the electrical parameters of the contacts and the proposed intermediate phases.

**$\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ KRİSTALLARI İLƏ KONTAKT ƏRİNTİLƏRİNİN AYRILMA SƏRHƏDİNİN ELEKTRİK
XASSƏLƏRİ**

T. C. ƏLİYEVƏ, G. C. ABDİNOVA, N. M. AXUNDOVA, C. Ş. ABDİNOV

$\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ -kontakt ərintisi ayrılma sərhədində elektrik və adgeziya hadisələri, həmçinin kristal və kontakt ərintisinin təşkil edən element atomlarının qarşılıqlı diffuziyası tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ kristallarından elektroziya üsulu ilə nümunələr kəsikdə kəsən səthində quruluş, tərkib və elektrik xassələri ilə kristaldan fərqlənən $\sim 15\text{mikm}$ qalınlıqlı təbəqə yaranır. Nümunələr üzvə səthində kontakt ərintisi çəkdikdə, kontakt ərintisinin və kristalın tərkibinə daxil olan elementlərin qarşılıqlı diffuziyası və kimyəvi qarşılıqlı təsiri, nəticədə müxtəlif aralıq fəzalar yaranır. Hər iki amil ayrılma sərhədinin elektrik və adgeziya xassələrinə təsir göstərir. Kontaktın və aralıq fəzaların elektrik xassələri arasında yaxşı korelyasiya müşahidə olunur.