

АНИЗОТРОПИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В ОБЛУЧЕННЫХ КРИСТАЛЛАХ $TlInS_2$

*Институт радиационных проблем Национальной академии наук Азербайджана,
ул. Ф. Агаева, г. Баку, АЗ-1143, Республика Азербайджан, msrahim@rambler.ru*

Введение

В литературе имеются данные о значительной концентрации дефектов в анионной подрешетке бинарных и тройных халькогенидов типа A^3B^6 и $A^3B^3C^6$ [1–3]. Этот факт особенно ярко выражен в сульфидах вышеуказанных соединений. $TlInS_2$ – один из немногих полупроводниковых соединений, в кристаллах моноклинной модификации которого наблюдается последовательность несоответственных и сегнетоэлектрических фазовых переходов. Очевидно, что вакансии, имеющиеся в анионной подрешетке этих соединений, должны отражаться на особенностях электропроводности в температурной области 170–220 К, а также на фотоэлектрических свойствах.

Характерным свойством кристаллов $TlInS_2$ является их способность к образованию дефектов упаковки, очень влияющих на электропроводность этих кристаллов [4, 5]. По всей видимости, такая высокая концентрация собственных дефектов связана с сильной анизотропией сил связей в таких структурах, которая способствует возникновению многочисленных дефектов стыковки слоев, вакансий и дислокаций. Это приводит к нарушению трансляционной инвариантности кристаллической структуры и возникновению локализованных состояний в запрещенной зоне кристалла. Влияние дефектов упаковки на электрические свойства дефектных кристаллов, а также взаимодействие этих дефектов с радиационными дефектами до настоящего времени не изучено.

В данной работе приводятся результаты исследования анизотропии электропроводности кристаллов $TlInS_2$ гексагональной модификации, облученных γ -квантами при комнатной температуре.

Методика измерений

Для исследования были выращены монокристаллы $TlInS_2$ путем отжига монокристаллов моноклинной модификации при 650 К в течение 30 дней. Кристаллы имели n-тип проводимости и обладали удельным сопротивлением $(1-6) \cdot 10^6$ Ом·см. Параметры элементарной ячейки этих кристаллов имеют следующие значения: $a=3,82\text{Å}$, $c=14,85\text{Å}$. В качестве омических контактов использовался индий. Измерения проводились в направлении, параллельном и перпендикулярном оси c кристаллов [6]. Облучение образцов γ -квантами осуществлялось на установке Co^{60} при комнатной температуре. При этом для исключения их нагрева кристаллы охлаждались парами жидкого азота, причем их температура не поднималась выше 290 К.

Экспериментальные результаты и обсуждение результатов

На рис. 1 и 2 представлены температурные зависимости электропроводности кристаллов $TlInS_2$ гексагональной модификации (ГМ) в направлении, перпендикулярном ($\sigma_{\perp c}$) и параллельном ($\sigma_{\parallel c}$) оси c , облученных γ -квантами при 300 К. Как видно из рис. 1, электропроводность необлученных кристаллов в направлении $\sigma_{\perp c}$ в области температур 210–220 К имеет глубокий минимум с энергией активации $E + 0,49$ эВ и при дальнейшем уменьшении температуры претерпевает экспоненциальный рост (кривая 1). При облучении образцов дозами 50 и 100 крад электропроводность кристалла увеличивается и характер зависимости сохраняется, но при этом наблюдается смещение минимума в сторону высоких температур (250 К), в результате его глубина и ширина уменьшаются (кривые 2 и 3). Из рис. 2 также видно, что на кривой зависимости $\sigma_{\parallel c}(T)$ наблюдается минимум в области температур 180–190 К, который также смещается в сторону высоких температур, его глубина и ширина уменьшаются с ростом дозы облучения. Анализ температурной зависимости электропроводности показал, что согласно данным [7, 8] в кристаллах $TlInS_2$ гексагональной модификации различные механизмы проводимости в различных кристаллических направлениях обусловлено влиянием неконтролируемых примесей, осаждающихся на дефектах упаковки. Это, вероятнее всего, служит причиной уменьшения анизотропии электропроводности во всем температурном интервале по мере увеличения дозы облучения.

На рис. 3 приведены зависимости $\sigma_{\perp c}$ и $\sigma_{\parallel c}$ от дозы облучения при комнатной температуре. Как видно из рисунка, при дозах до 30 крад электропроводность кристаллов незначительно изменяется в обоих направлениях. При дозах облучения в интервале 30–120 крад (кривая 1) зависимость $\sigma_{\perp c} \sim f(D)$, проходя через минимум, резко возрастает, в дальнейшем с ростом дозы облучения наблюдается незначительный рост электропроводности. Следует отметить, что в интервале 30–120 крад электропроводность в направлении, параллельном оси c ($\sigma_{\parallel c}$), экспоненциально растет, и далее характер зависимости $\sigma_{\parallel c} \sim f(D)$ повторяется, как и в случае $\sigma_{\perp c} \sim f(D)$. Сравнение кривых 1 и 2 (рис. 3) показывает, что при облучении малыми дозами нелегированного n -TlInS₂ ГМ вводятся радиационные дефекты типа собственного акцепторного дефекта в объеме и межслоевом пространстве кристалла.

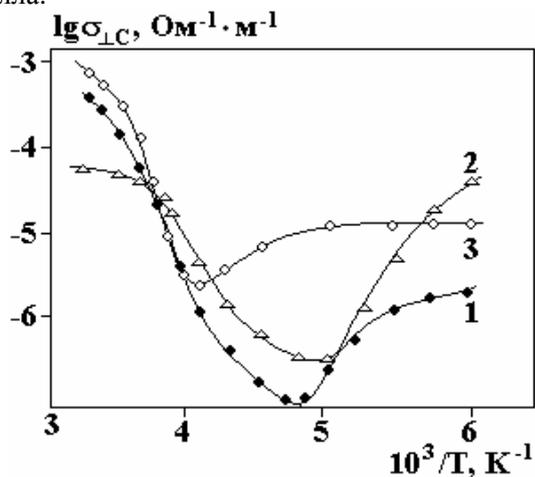


Рис. 1. Температурные зависимости электропроводности n -TlInS₂ ГМ в направлении $\sigma_{\perp c}$ до (1) и после облучения γ -квантами дозой 50 (2) и 100 крад (3)

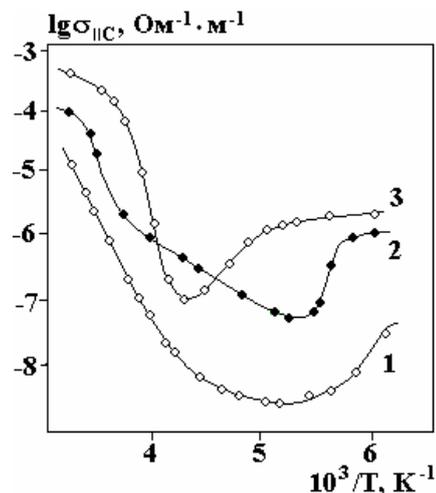


Рис. 2. Температурные зависимости электропроводности n -TlInS₂ ГМ в направлении $\sigma_{\parallel c}$ до (1) и после облучения γ -квантами дозой 50 (2) и 100 крад (3)

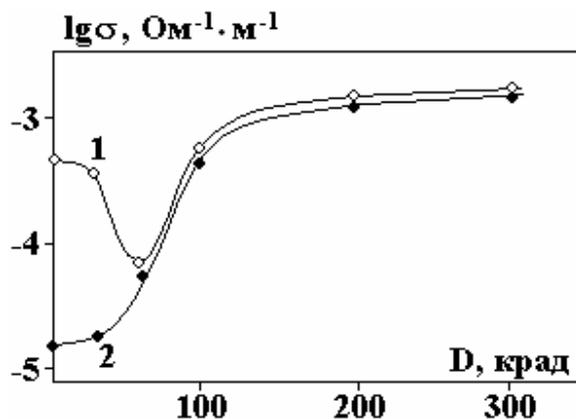


Рис. 3. Зависимость удельной электропроводности (при 293K) n -TlInS₂ от дозы облучения. 1 – в направлении, перпендикулярном оси c ; 2 – в направлении, параллельном оси c

Действительно, полученные результаты свидетельствуют о том, что различие механизмов проводимости в разных кристаллических направлениях обусловлено влиянием неконтролируемых примесей, осаждающихся на дефектах упаковки кристаллов TlInS₂. Указанный характер изменения электропроводности кристаллов n -TlInS₂ ГМ свидетельствует об образовании при облучении в запрещенной зоне TlInS₂ непрерывного ряда глубоких акцепторных уровней [9], принимающих на себя часть электронов. При дальнейшем облучении характер зависимости $\sigma_{\parallel c}$ и $\sigma_{\perp c} \sim f(T)$ изменяется (рис. 1, 2). Это связано с тем, что длительное облучение смещает уровень Ферми ближе к середине запрещенной зоны, радиационные уровни, созданные облучением, оказываются при этом этого уровня. Поэтому при повышении температуры электропроводность растет за счет увеличения концентрации электронов в зоне проводимости. Это и служит причиной уменьшения анизотропии электропроводности во всем температурном интервале по мере увеличения дозы облучения. Уменьшение $\sigma_{\perp c}$ в интервале доз до 60 крад по сравнению с $\sigma_{\parallel c}$ происходит вследствие накопления радиационных де-

фектов в межслоевом пространстве кристалла. Это означает, что накопления радиационных дефектов на межслойных пространствах приводят к искривлению дна зоны проводимости и образованию потенциальных ям для носителей заряда. Увеличение количества дефектов служит причиной разупорядочения в расположении слоев и тем самым способствует росту межслоевого барьера. Широкий диапазон значений анизотропии электропроводности обусловлен присутствием вышеуказанных неконтролируемых примесей, которые, осаждаваясь на дефектах упаковки, вносят разупорядочение вдоль оси c . Дислокация таких примесных включений при термообработке способствует проявлению трехмерного характера „ c “ зоны кристаллов $TlInS_2$ ГМ.

Полученные результаты, в частности спад $\sigma_{\perp c}$ при малых дозах облучения, свидетельствуют о том, что, начиная с некоторой дозы (зависящей от исходной концентрации примесей), наблюдается накопление радиационных дефектов в межслоевом пространстве вдоль плоскости и в слоях. В результате этого уменьшаются подвижность основных носителей и, следовательно, электропроводность в обоих направлениях. При увеличении дозы облучения вследствие взаимодействия радиационных дефектов с исходными неоднородностями происходит образование сложных дефектов, в результате чего электропроводность в обоих направлениях экспоненциально увеличивается. Полагаем, что уменьшение электропроводности при малых дозах в случае $\sigma_{\perp c}$ связано с частичной компенсацией исходного уровня донорного типа. Облучение большими дозами (выше 200 крад) n - $TlInS_2$ ГМ приводит к образованию скоплений радиационных дефектов в межслоевом пространстве и сильной компенсации материала.

Анализ результатов проведенных экспериментов показал, что неравновесные точечные радиационные дефекты, образованные в слоях, мигрируя, скапливаются в межслоевом пространстве и тем самым снижают анизотропию кристалла при высоких дозах облучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелег А.У., Плющ О.Б., Алиев В.А. Рентгенографические исследования несоизмеримой фазы в кристаллах β - $TlInS_2$ // ФТТ. 1994. Т. 36. В. 1. С. 226–230.
2. Керимова Э.М., Мустафаева С.Н., Маггеррамов А.Б. Влияние примесей Ag, Cu и Sn на электрические и фотоэлектрические свойства монокристаллов $TlInS_2$ // Неорган. материалы. 1997. Т. 33. В.11. С. 1325–1326.
3. Mamedov K.K., Abdullaev A.M., Kerimova E.M. Heat capacities of $TlInS_2$ crystals at low temperatures // Phys. Stat. Sol.(a). 1986. V. 94. № 1. P. 115–119.
4. Алиев С.Н., Наджафов А.И., Алекперов О.А. Получение и исследование свойств гексагонального $TlInS_2$ // Изв. АН СССР, Неорган. Материалы. 1991. Т. 27. № 3. С. 621–622.
5. Алекперов О.А., Наджафов А.И. Аномалии диэлектрической проницаемости в политипах моноклинной модификации $TlInS_2$ // Неорган. материалы. 2004. Т.40. № 12. С. 1423–1426.
6. Лысов В.Ф. Практикум по физике полупроводников. М.: Просвещение, 1976. 207 с.
7. Шелег А.У., Иодковская К.В., Родин С.В., Алиев В.А. Влияние γ -облучения на электропроводность и диэлектрические свойства кристаллов β - $TlInS_2$ в области существования несоизмеримой фазы // ФТТ. 1997. Т. 39. № 6. С.1088–1090.
8. Мустафаева С.Н., Алиев В.А., Асадов М.М. Прыжковая проводимость на постоянном токе в монокристаллах $TlGaS_2$ и $TlInS_2$ // ФТТ. 1996. Т. 40. № 4. С. 612–615.
9. Мадатов Р.С., Наджафов А.Н., Мамедов В.С., Мамедов М.А. Эффект переключения в монокристаллах $TlInS_2$, облученных γ -квантами // Известия НАН Азербайджана. 2008. Т. 27. № 2. С. 64–67.

Поступила 07.10.09

Summary

Investigations of anisotropy of electric conductivity in the hexagonal crystals of $TlInS_2$, irradiated by gamma-rays are conducted. It is found that at low-dose irradiation (~ 50 krad) the accumulation of radiation defects takes place in the interlayer space as well as in the plane of layers. This results in decrease of $\sigma_{\perp c}$ and $\sigma_{\parallel c}$ electric conductivity. At high-dose irradiation (more than 200 krad) a formation of complex defects takes place due to the interaction between radiation defects with the original inhomogeneities. As a result, electric conductivity in both directions increases exponentially.