Термоэлектрические свойства и эффект Шубникова – де Гааза смешанных кристаллов $(Bi_{0.5}Sb_{0.5})_2Te_3$<Ga>

Юзеева Наталия Александровна [1]***, Тарасов Павел Михайлович***

студентка, аспирант

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E–mail: yuzeeva@inbox.ru

Введение

Полупроводниковые материалы на основе теллуридов висмута и сурьмы в настоящее время являются самыми эффективными и широко используемыми для термоэлектрических преобразователей энергии, холодильников, термостатов, работающих в интервале температур 200–350К. Поиск путей увеличения термоэлектрической эффективности этих веществ кроме фундаментального научного имеет и прикладное значение. Оптимальных величин параметров можно достичь введением различных легирующих примесей. Максимальному значению Z соответствует определенная концентрация носителей заряда, которая может изменяться при отклонении от стехиометрии или легировании кристалла. Легирование определенным элементом изменяет полярность связей, и, следовательно, концентрацию точечных дефектов. В качестве примера можно привести индий, который в теллуриде сурьмы обладает донорным действием [1], хотя и находится в третьей группе Периодической таблицы элементов.

Эффект Шубникова-де Газа является эффективным методом исследования поверхности Ферми полупроводников. Знание формы поверхности Ферми и ее анизотропии позволяет получить данные об анизотропии гальваномагнитных и термоэлектрических свойств материала.

В данной работе исследовалось влияние Ga на термоэлектрические свойства и эффект Шубникова-де Гааза монокристаллов $(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$. Все образцы первоначально имели *p*-тип проводимости, что связано с наличием заряженных точечных дефектов в кристаллах [1].

Результаты и обсуждение

Эффект Шубникова-де Гааза (ШдГ) исследовался при температуре 4,2 К, в импульсных магнитных полях до 30 Тл при ориентации магнитного поля вдоль оси C_3 кристаллов, когда все сечения 6 эллипсоидов поверхности Ферми совпадают и наблюдается одна частота в эффекте ШдГ. Термоэлектрические свойства измерялись в интервале температур 77-300К.

С понижением температуры сопротивление всех образцов уменьшалось как в металлах, что связано с высокой начальной концентрацией дырок и их вырождением. При Т=4.2 К наблюдались осцилляции магнетосопротивления (эффект ШдГ). На рис. 1 приведены осцилляции ШдГ для трех исследованных образцов, а в таблице 1 приведены частоты эффекта ШдГ и рассчитанные по ним значения энергий Ферми и концентраций

Таблица 1. Частота осцилляций ШдГ F, энергия Ферми E_F и концентрация дырок p_{SdH} из расчета по эффекту ШдГ

№	Состав	F (T)	E_F (meV)	$p_{SdH}*10^{19}$ (cm^3)
1	$(Bi_{0.5}Sb_{0.5})_2Te_3$	24	38.5	0.77
2	$(Bi_{0.5}Sb_{0.5})_2Te_3$(Ga0.3at%)	23	37.3	0.71
3	$(Bi_{0.5}Sb_{0.5})_2Te_3$(Ga2at%)	21	34.7	0.63

легких дырок. Методика расчета приведена в работе [2]. Как видно из рис. 1 и таб. 1 легирование Ga приводит к уменьшению дырочной концентрации, то есть Ga действует как донор.

[1] Автор выражает признательность профессору, д.ф-м.н. Кульбачинскому В.А. за помощь в подготовке тезисов.

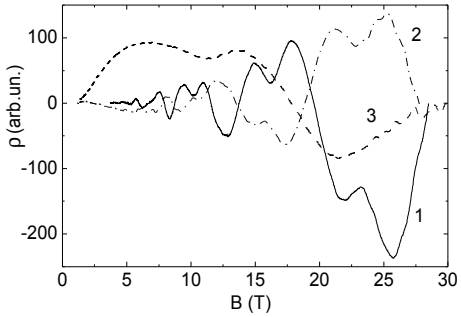

Рис.1. Осцилляции ШдГ у образцов $(Bi_{0.5}Sb_{0.5})_2Te_3$ (1), $(Bi_{0.5}Sb_{0.5})_2Te_3$(Ga 0.3at%) (2) и $(Bi_{0.5}Sb_{0.5})_2Te_3$(Ga2at%) (3)

Кроме этого в работе изучались температурные зависимости теплопроводности и термоэдс легированных Ga образцов $(Bi_{0.5}Sb_{0.5})_2Te_3$. На рис. 2a приведены температурные зависимости коэффициента Зеебека S, а на рис. 2b – коэффициента теплопроводности *k* исследованных образцов. Как видно из рис. 2 легирование Ga улучшает термоэлектрические свойства смешанных кристаллов $(Bi_{0.5}Sb_{0.5})_2Te_3$. Это обстоятельство связано с уменьшением концентрации дырок под действием легирования.

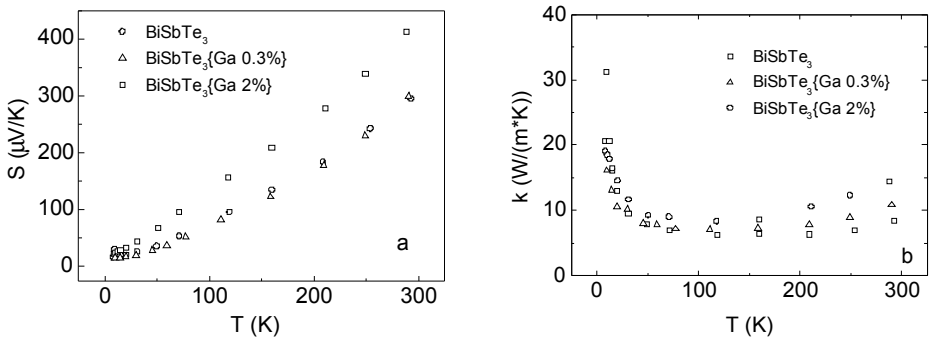

Рис. 2. Температурные зависимости коэффициента Зеебека S (a) и коэффициента теплопроводности k (b)

Таким образом, элемент 3 группы Ga Периодической таблицы элементов вызывает донорный эффект в полупроводнике типа $A_2^V B_3^{VI}$. Это необычное поведение связано с тем, что введение Ga изменяет полярность связей в $(Bi_{0.5}Sb_{0.5})_2Te_3$, что уменьшает количество заряженных точечных дефектов и, следовательно, концентрацию дырок. Концентрация дырок в теллуридах висмута и сурьмы, а также в смешанных кристаллах $Bi_{1-x}Sb_xTe_3$ определяется заряженными точечными дефектами.

Литература

1. V.A. Kulbachinskii, Z.M. Dashevskii, M. Inoue, et al. (1995) Valence-band changes in $Sb_{2-x}In_xTe_3$ and $Sb_2Te_{3-y}Se_y$ by transport and Shubnikov–de Haas effect measurements // Phys. Rev. B, **52**, 10915-10922.

2. V.A. Kulbachinskii, A.Yu. Kaminskii, R.A. Lunin, et al. (2002) Quantum oscillations of Hall resistance, magnetoresistance in a magnetic field up to 54 T and the energy spectrum of Sn doped layered semiconductors p-$(Bi_{1-x}Sb_x)_2Te_3$ // Semicond. Sci. Technol., **17**, 1133-1140.