

УДК 621.315.592

**ТЕРМОМАГНИТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ****АГАЕВ З. Ф., АРАСЛЫ Д. Г., АЛИЕВ С. А.***Институт Физики НАН Азербайджана*

В работе приведены основные характеристики преобразователей ИК-излучения и выявлены наиболее перспективные материалы для приемника ИК-излучения. Показано, что HgCdTe, HgSe, HgTe и Bi-Sb являются наиболее эффективными материалами для создания измерителей и детекторов теплового потока.

**ВВЕДЕНИЕ**

Известно, что на основе термомагнитного эффекта Нернста-Эттингсгаузена (Н-Э) могут быть созданы быстродействующие приемники ИК – излучения, обладающие низким выходным сопротивлением. Принцип действия таких приемников заключается в том, что при приложении магнитного поля перпендикулярно градиенту  $\Delta T$ , на границах перпендикулярно  $B$  и  $\Delta T$  может возникать э.д.с. Н-Э, по значению которого судят о величине теплового потока. Этому вопросу посвящен ряд работ [1-16], в которых обсуждаются основные характеристики таких приемников и даются конкретные рекомендации для чувствительных элементов. В качестве чувствительного элемента в таких приемниках, в основном, использованы полуметаллы и узкозонные полупроводники, обладающие большой подвижностью носителей заряда.

Имеющиеся в литературе данные получены на основе монокристаллов [1-3] и пленок [4-6] арсенида кадмия, эвтектик арсенида кадмия – арсенида – никеля [7-11], антимонид индия – антимонид никеля [10], сплавов висмута – сурьма [10-12], монокристаллов сурьмянистого кадмия [13-14].

В работе [16] показана перспективность таких тепловых приемников с чувствительными элементами различных ферромагнитных металлов: никеля, железа, кобальта и тонких металлических пленок висмута, сурьмы и серебра. Однако, в этих работах основные характеристики оценены качественно, не учтены: особенность энергетического спектра и характер взаимодействия электронов, механизмы рассеяния носителей тока, наличие двух сортов носителей тока в проводимости, адиабатичность и изотермичность условий работы приборов и т.д. В них не имеются и подробные данные о температурной, концентрационной и полевой зависимостях характеристик приемника. Следовательно, более глубокий научный анализ и всестороннее экспериментальное исследование могут выявить наиболее оптимальные условия, предъявляемые к термомагнитным приемникам ИК – излучения.

В данной работе поставлена задача выявить наиболее перспективные материалы для приемников и детекторов ИК- излучения, работающих на основе эффекта Н-Э.

**ТЕОРИЯ**

Основными характеристиками термомагнитного преобразователя на основе эффекта Н-Э являются [7] :

$$\text{чувствительность, В}\cdot\text{м}\cdot\text{Вт}^{-1}: \quad \delta = \frac{E_y}{w/s} = \frac{QB}{\chi} \quad (1)$$

$$\text{термомагнитная добротность, К}^{-1}: \quad Z = \frac{(QB)^2}{\chi\rho} \quad (2)$$

$$\text{фактор добротности, Вт}^{-1/2} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-1/2} : F = \frac{QB}{\chi^{3/4} c^{1/4} \rho^{1/2}} \quad (3)$$

$$\text{обнаружительная способность, Вт}^{-1} \cdot \text{м} \cdot \text{Гц}^{1/2} : D = \delta \left( \frac{d}{4kT\rho} \right)^{1/2} / (1 + \sqrt{ZT}) \quad (4)$$

$$\text{инерционность, с} : \tau = \frac{0,4c}{\chi} \delta \quad (5)$$

Здесь  $E_y$  – поле Н-Э,  $w/s$  – мощность, поглощаемая единицей поверхности приемника,  $d$  – толщина чувствительного элемента,  $\chi$ ,  $\rho$ ,  $c$  – коэффициенты теплопроводности, электросопротивления, теплоемкости, соответственно. Как видно, основными физическими параметрами полупроводника, входящими в формулы (1-5), являются коэффициенты Н-Э, теплопроводности и электросопротивления. Поэтому достаточно проанализировать зависимость этих эффектов от температуры, магнитного поля и концентрации носителей тока с учетом различных механизмов рассеяния, степени вырождения, закона дисперсии и т.д.

Эффект Нернста – Эттингсгаузена: Известно, что в полупроводниках с узкой запрещенной зоной закон дисперсии соответствует кейновской модели и во многих из них электроны взаимодействует неупруго. Согласно теории, справедливой для полупроводников с вырожденным одним сортом носителей тока и кейновским законом дисперсии  $\varepsilon(k)$ , учитывающей неупругость характера рассеяния, а также влияние непараболичности на вероятность рассеяния, коэффициент изотермического эффекта Н-Э имеет вид:

$$Q^{из.} = \frac{A}{B} \gamma_r^{из.} \frac{UB \frac{L}{L_0}}{1 + (UB \frac{L}{L_0})} \quad (6)$$

$$\text{где} \quad \gamma_r^{из.} = (1 - S_0) \gamma_r' - \frac{S}{3} \quad (7)$$

$$\gamma_r' = [2 - (1 + P) \frac{d \ln f(\frac{p}{p_0})}{dp}] \gamma - \frac{2}{3} (r - \frac{1}{2}) \quad (8)$$

$$\gamma = \frac{1}{3} \frac{p}{p+1} [1 - (\frac{p}{p_0})^r] \quad (9)$$

$L$  – экспериментальное,  $L_0 = 2,44 \cdot 10^{-8}$  зоммерфельдовское значение числа Лоренца,  $(\frac{L}{L_0} = 1 - S_0)$  – показывает степень неупругости),  $U$  – подвижность,  $n$  – концентрация носителей тока. В формулах (6-9)  $\gamma$  – параметр непараболичности,  $r$  – параметр механизма ( $\tau \sim \varepsilon^r$ ) рассеяния, принимающий значение 0, 1, 2, соответственно при рассеянии носителей тока на акустических, оптических фононах и на ионизированных примесях,  $p = (\frac{1}{m^*} - 1)$ ,  $p_0 = (\frac{1}{m_0^*} - 1)$ ,  $m^*$  и  $m_0^*$  – эффективные массы на уровне Ферми и на дне зоны проводимости. Фактор  $f(r)$  в зависимости от  $r$  принимает различные значения, которые даны в работе [17]. Входящий в формулу (6) множитель  $A \gamma_r^{из.}$

можно заменить на магнитотермо-э.д.с. в сильном магнитном поле  $\Delta\alpha_\infty$  и термо-э.д.с. в отсутствии поля  $\alpha$ , соответственно, т.е.  $Q$  можно оценить и по данным  $\Delta\alpha_\infty$  и  $\alpha$ , если известны остальные параметры.

Выражения для коэффициента Н-Э в различных случаях при слабых и сильных полях приведены в монографиях [18,19]. Откуда следует, что за исключением собственной области проводимости термомагнитная сила  $QV$  проходит через максимум, причем в случае упругого рассеяния максимум  $QV$  соответствует  $UB=1$ , а в случае неупругого рассеяния  $UB=L/L_0$ . В области собственной проводимости при произвольном значении  $UB$ ,  $QV \sim V$ .

Теплопроводность: Коэффициент теплопроводности в полупроводниках, в основном, содержит решеточную ( $\chi_p$ ) и электронную ( $\chi_3$ ) составляющие ( $\chi_{об.} = \chi_p + \chi_3$ ). Электронная теплопроводность подробно излагается в [20].

Электропроводность: Для полупроводников с вырожденным одним сортом носителей тока с кейновским законом дисперсии температурная зависимость электропроводности соответствует температурной зависимости подвижности  $\sigma = e\mu$ . В смешанной и собственной области проводимости температурная зависимость при высоких температурах возрастает с  $T$ . В области перехода от примесной проводимости в собственную  $\sigma$  проходит через минимум. Когда в проводимости участвуют одновременно два сорта носителей тока с сильно отличающимися эффективными массами, в магнитном поле возникает большое сопротивление и зависимость  $\Delta\rho/\rho$  от  $V$  имеет квадратичный закон в широком диапазоне температур.

Ввиду того, что мы не раз вернемся к двухфазным системам, следует привести некоторые теоретические выражения для гальвано- и термомагнитных коэффициентов. Теория кинетических явлений для двухфазной системы исходит из следующей простой модели. Предполагается, что матрица состоит из примесного полупроводника с высокой подвижностью. В эту матрицу введены параллельные пластины или иглы из металла с низкой подвижностью носителей тока, но высокой проводимостью. Также предполагается, что объемная концентрация металлической фазы “с” мала по сравнению с полупроводниковой фазой. Ввиду того, что длина равномерно распределенных игл или пластин больше их сечений, такую систему можно считать макроскопически гомогенной. В работах [7,10] для кинетических коэффициентов получены следующие выражения:

$$\rho = \frac{1 + R_1^2 B^2 \sigma_1^2}{1 + \frac{\sigma_1}{\sigma_2} c} \quad (10)$$

$$Q = \frac{\alpha_1 R_1 \sigma_1}{1 + \frac{\sigma_1}{\sigma_2} c} \quad (11)$$

$$\chi = \chi_p + \chi_1 + \chi_2 c = \frac{\sigma_1 \sigma_2 c}{\sigma_1 + \sigma_2 c} \alpha_1^2 T \quad (12)$$

где  $R$  - коэффициент Холла,  $\sigma$  - электропроводность,  $c$  – объемное содержание второй фазы, индексы 1 и 2 относятся соответственно к полупроводниковой и металлической фазам.

При предельно сильных магнитных полях ( $R_1^2 \sigma_1^2 B^2 \gg 1$ ) из уравнений (10) и (12) имеем

$$ZT = \frac{\alpha_1^2 \sigma_1 T}{(1 + \frac{\sigma_1}{\sigma_2} c)(\chi_p + \chi_2 c + \frac{\sigma_1 \sigma_2 \alpha_1^2 c T}{\sigma_1 + \sigma_2 c})} \quad (13)$$

Максимальное значение термомагнитной добротности достигается при выполнении условий

$$\left(\frac{\sigma_2 c}{\sigma_1}\right)^2 = \frac{\chi_p}{L\sigma_1 T} \quad (14)$$

## ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из формулы (1) следует, что для создания термомагнитного преобразователя ИК – излучения с высокой удельной чувствительностью необходимо выбирать материал с низкой теплопроводностью, но с большим значением коэффициента Н-Э. Из теории следует, что коэффициент Н-Э может достигать больших значений в материалах, в которых при не очень высоких значениях концентраций носители обладают большой подвижностью, а в области смешанной проводимости, если отношение подвижностей электронов и дырок в них  $b = \frac{U_n}{U_p} \gg 1$ .

Из формулы (2) следует, что для преобразователя с высокой добротностью необходимо иметь материал, обладающий также низкой теплопроводностью и высоким значением коэффициента Н-Э. Однако, для этого необходимо, чтобы материал обладал низким сопротивлением и высокой подвижностью носителей тока.

Инерционность приемников определяется теплопроводностью и толщиной чувствительного элемента (см. (5)). Для создания малоинерционных приемников необходимо, чтобы чувствительный элемент имел минимальную толщину и обладает высокой теплопроводностью.

Одним из важных характеристик преобразователей ИК- излучения является его обнаружительная способность. Из (4) видно, что обнаружительная способность, в основном, зависит от удельной чувствительности и теплопроводности. Следовательно, требования к материалам для создания термомагнитных преобразователей ИК-излучения не едины. Материалы с высокой  $\delta$ , но несколько худшими показателями  $F$ ,  $D$ ,  $\tau$  находят применение для создания измерителей теплового потока, с высоким значением  $F$  – для создания детекторов ИК – излучения, а с высоким  $Z$  – для преобразователя энергии.

Проанализируем перечисленные вопросы на конкретных примерах.

Монокристаллы Vi: Впервые идея использования термомагнитного эффекта Н-Э для детектирования была высказана Вошвеллом [12] при изучении термомагнитных явлений в Vi. Висмут является уникальным материалом для изучения гальвано- и термомагнитных явлений. Он относится к числу немногих полуметаллов, в которых концентрации электронов и дырок, равны и обладают высокой подвижностью. Поэтому термомагнитные эффекты в Vi достаточно велики. Действительно,  $\Delta\rho/\rho$  и  $QV$  в Vi имеют относительно большие значения. Однако, этого недостаточно для создания эффективного преобразователя. Из данных электрических свойств следует, что Vi может быть применен для создания детекторов ИК – излучения. Казалось, Vi должен был быть наилучшим материалом и для измерителя теплового потока. Однако, имеются объективные причины, препятствующие этому. Основной причиной является то, что ввиду перекрытия валентной зоны и зоны проводимости в Vi концентрации собственных носителей при температурах  $T \geq 200\text{K}$  принимает относительно высокие значения, что приводит к значительному снижению значения коэффициента Н-Э, другая причина – относительно высокое значение решеточной теплопроводности.

Твердые растворы Vi-Sb. Известно, что добавление атомов Sb в Vi приводит к постепенному снятию перекрытия валентной зоны и зоной проводимости. При этом. уменьшается энергия перекрытия и при определенном содержании Sb происходит переход полуметалл–полупроводник, уменьшается значение собственной

концентрации, возрастает подвижность электронов и отношение  $b = U_n/U_p$ , уменьшается и решеточная теплопроводность. Конечно, эти изменения должны в значительной мере увеличить коэффициент Н-Э и в итоге привести к возрастанию удельной чувствительности и добротности преобразователей. Однако, результаты по QВ,  $\delta$ , F и Z для этого состава при комнатной температуре получены даже меньше, чем в чистом Bi. Причина заключается в том, что коэффициент Н-Э QВ при слабых магнитных полях имеет отрицательный знак, а, начиная с 0,5 Тл, меняет свой знак и становится положительным. Это, обусловлено тем, что в исследованном образце концентрация дырок больше, чем электронов ( $p > n$ ), а подвижность электронов больше, чем дырок ( $U_n > U_p$ ). В таких составах Bi – Sb большой положительный эффект имеет место при более низких температурах. Значительное возрастание  $\delta$ , F и Z при 300 К можно ожидать в полупроводниковом состоянии.

Эвтектика Bi-Ag: С целью повышения термомагнитной добротности висмута сделана попытка введения в него атомов серебра, которое образует эвтектику, вторая металлическая фаза Ag в нем располагается в виде вытянутых игл диаметром 3 мкм и длина 50 мкм. Предполагалось, что металлические иглы серебра, закорачивая продольное электрическое поле ( $E_a$ ), сильно увеличивают поле Н-Э. При этом закорачивание продольного электрического поля сопровождается возрастанием поперечного поля, а в области токов короткого замыкания возникают в поперечном направлении холловские поля, аддитивно складывающиеся с полем Н-Э, в результате чего может возникнуть увеличение эффекта в магнитном поле.

Однако, оказалось, что в этом случае величина коэффициента Н-Э в Bi-Ag небольшая, даже несколько меньше, чем в чистом Bi. Дело в том, что в системе Bi-Ag до образования эвтектики атомы серебра, растворяясь в нем, создают примеси, концентрация которых намного больше концентрации собственных носителей тока. Поэтому большая концентрация носителей тока не позволяет наблюдать ожидаемый эффект. Но ожидаемого эффекта можно добиться, если металлическая фаза не выступает как примесь.

Эвтектика InSb-NiSb: Первые исследования системы InSb-NiSb показали, что в ней при 1,8 ат% Ni образуется эвтектика. При направленной кристаллизации вторая фаза (NiSb) вытягивается вдоль градиента температуры в виде игл длиной 50 мкм и диаметром 2,5 ÷ 3, мкм. Эвтектика InSb-NiSb отличается от других эвтектик подобного типа одной очень важной особенностью, заключающейся в том, что ее компоненты не создают в ней дополнительных примесных центров. Благодаря этой особенности эвтектика InSb-NiSb нашла широкое практическое применение в гальваномагнитных преобразователях [2].

Эвтектика Cd<sub>3</sub>As<sub>2</sub>-NiAs: В поисках наиболее эффективного материала для термомагнитных преобразователей авторами [22] по аналогии с InSb-NiSb исследована эвтектика Cd<sub>3</sub>As<sub>2</sub> - NiAs. Матрица Cd<sub>3</sub>As<sub>2</sub> – полупроводник с очень низкой теплопроводностью [23]. Подвижность электронов в нем для концентраций  $n = 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  достигает рекордных значений. Ввиду того, что в ней тепло переносится, в основном, электронами, по мере возрастания напряженности магнитного поля заметно уменьшается коэффициент теплопроводности, что приводит к повышению как чувствительности, так и добротности термомагнитных преобразователей. По аналогии с выше приведенными эвтектиками, предполагалось, что наличие металлических включений NiAs может значительно повысить параметры приемников. Однако, экспериментальные результаты не подтвердили это предположение. Оказалось, что NiAs не эффективно закорачивает поле, что связано с близкими значениями электропроводностей матрицы Cd<sub>3</sub>As<sub>2</sub> и NiAs, т.е. в Cd<sub>3</sub>As<sub>2</sub> концентрация и подвижность электронов велики. Тем не менее, этот материал оказался интересным объектом как с точки зрения исследования в ней термомагнитных эффектов, так и для создания на его основе детекторов теплового излучения.

Теллурид ртути: Теллурид ртути относится к бесщелевым полупроводником. Согласно модели Гровса – Пола, зона проводимости касается с зоной тяжелых дырок в точке  $k = 0$ , а зона легких дырок расположена на  $\sim 0,34$  эВ ниже зоны тяжелых дырок, т.е. этот материал можно назвать и полуметаллом. Расстояние между зонами легких и тяжелых дырок можно изменить различными способами: давлением, электрическим и магнитным полями, замещением атомов Hg атомами Cd, Zn, Mn и т.д. Однако, значение удельной чувствительности в нем при 300 К совпадает со значением  $\delta$  для  $Cd_3As_2 - NiAs$ .

Селенид ртути: Селенид ртути является аналогом HgTe и модель Гровса – Пола справедливо для него. Только в HgSe расстояние между зоной тяжелых и легких дырок значительно меньше ( $\sim 0,2$  эВ) [24], чем в HgTe. Селенид ртути также имеет малую решеточную теплопроводность и высокую подвижность электронов, в широком диапазоне обладает только n – типом проводимости. При комнатной температуре удельная чувствительность  $\delta$  больше чем в HgTe. Значение фактора добротности в HgSe также высокое, но незначительно уступает значению F для  $Cd_3As_2 - NiAs$ . Следовательно, термомагнитные приемники из HgSe могут работать одновременно как измеритель и как детектор теплового излучения [16].

Для выявления наиболее перспективного материала необходимо, прежде всего, иметь экспериментальные данные о температурной, концентрационной и полевой зависимости характеристик термомагнитных приемников. Как отмечалось выше, в литературе нет таких данных. С этой целью в кристаллах HgSe и HgTe проведено комплексное исследование кинетических явлений. На рис 1а представлены кривые концентрационной зависимости  $\delta^{из.}(n)$  и  $\delta^{ад.}(n)$  при различных механизмах рассеяния, рассчитанные по формулам (1), (6), (9) в сопоставлении с экспериментальными результатами. Чувствительность приемника проходит через максимум, но после максимума  $\delta$  заметно падает с ростом концентрации. Максимальное значение HgSe соответствует концентрации  $n = 6,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Привлекает внимание температурная зависимость  $\delta$  (рис. 2b). Как видно,  $\delta$  растет с T, поэтому основным достоинством термомагнитных приемников является то, что они работают при комнатной температуре и реагирует на любую длину волны ИК – излучения.

Из рис. 2b представлены температурные и концентрационные зависимости F(n) в сопоставлении с расчетными кривыми при  $r = 1$ . При других значениях r кривые имеют примерно такой же ход, что и  $\delta$ . Максимальное значение F в HgSe также соответствует концентрации  $n = 6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ .

Совпадение максимумов  $\delta$  и F по концентрационной шкале обусловлено тем, что они при заданной температуре, в основном, зависят от значения коэффициента Н-Э. Наличие максимума  $\epsilon_y(n)$  обусловлено тем, что при концентрациях, близких к собственной,  $\epsilon(V)$  имеет сложную зависимость, а в примесной области проводимости значение  $\epsilon_y \sim U$ . Поэтому  $\epsilon_y(n)$  максимума достигает, при максимальной концентрации и подвижности.

Из рис. 1 видно, что и ход температурных зависимостей  $\delta$  и F совпадает. Это вытекает и из формул(1) и (3), если учесть, что множитель  $C^{1/4}$  и  $\rho^{1/2}$  в (3) не вносит качественного изменения в температурную зависимость. Из этих данных следует, что термомагнитный детектор ИК – излучения намного удобнее и эффективнее использовать при комнатной температуре. С целью повышения вольт-ваттной чувствительности можно использовать твердые растворы  $Cd_xHg_{1-x}Te$ .

Твердые растворы  $Cd_xHg_{1-x}Te$ : Отмечалось, что замещение атомов Hg атомами Cd приводит к сближению зоны проводимости и зоны легких дырок. Это приводит к повышению подвижности электронов и уменьшению теплопроводности. Эти особенности повышают термомагнитный коэффициент Н-Э. Подробные исследования показали, что для термомагнитных приемников наиболее эффективный состав

соответствует значению  $0,15 \leq x \leq 0,25$  [25]. В этом составе величина безразмерного поля Н-Э  $\varepsilon_y$  достигает значения  $\varepsilon_y = 2,7$  и при  $\chi = 0,022 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$  удельная чувствительность  $\delta$  и фактор добротности  $F$  при  $B = 1 \text{ Тл}$  превышает  $\delta$  приемника из  $\text{InSb} - \text{NiSb}$  более чем в 3 раза, а  $F \sim$  в 4 раза. Это позволяет значительно повысить вольт-ваттную чувствительность приемников теплового потока, работающих на основе термомагнитного эффекта Н-Э при 300 К. Эти результаты значительно улучшаются при облучении их потоком ускоренных электронов энергией 3,5 МэВ и дозой от  $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  до  $7 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$  при плотности потока электронов  $6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  [26].

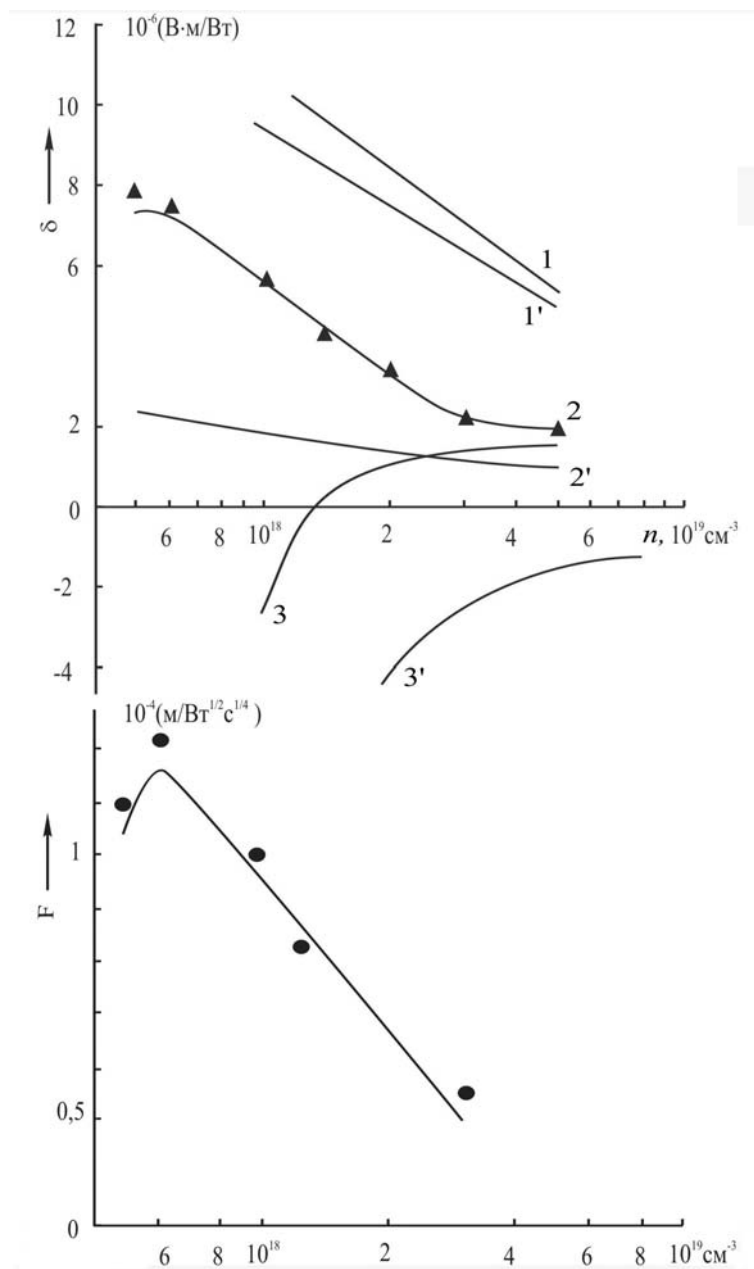


Рис. 1. Концентрационные зависимости  $\delta$  и  $F$  для  $\text{HgSe}$  при различных механизмах рассеяния электронов в изотермических (1', 2', 3') и адиабатических (1, 2, 3) условиях. Точки-экспериментальные данные, сплошные линии-расчетные: 1, 1' -  $r=0$ ; 2, 2' -  $r=1$ ; 3, 3' -  $r=2$ .

Халькогенид серебра: Халькогенид серебра - полупроводник с очень узкой шириной запрещенной зоны (при 4 К  $\epsilon_g = 0,02$  эВ), обладающий структурным фазовым переходом (ФП) при  $\sim 410$  К. С ростом температуры  $\epsilon_y$  уменьшается и перед ФП  $\text{Ag}_2\text{Te}$  становится бесщелевым. Эти особенности делают его пригодным для создания термоэлектрических и термомагнитных преобразователей ИК – излучения. Одной из возможных областей использования  $\text{Ag}_2\text{Te}$  это криогенная техника, где он может быть использован как элемент для холодильника Эттингсгаузена. Для этой цели используется  $\text{BiSb}$ , добротность которого при  $B = 1$  Тл и  $T = 80 \div 300$  К равна  $\sim 2 \cdot 10^{-3} \div 6 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ . При  $200 - 300$  К,  $Z$  в нем низкая ( $2 \cdot 10^{-4} \div 6 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ), в связи с чем этот материал становится неэффективным.

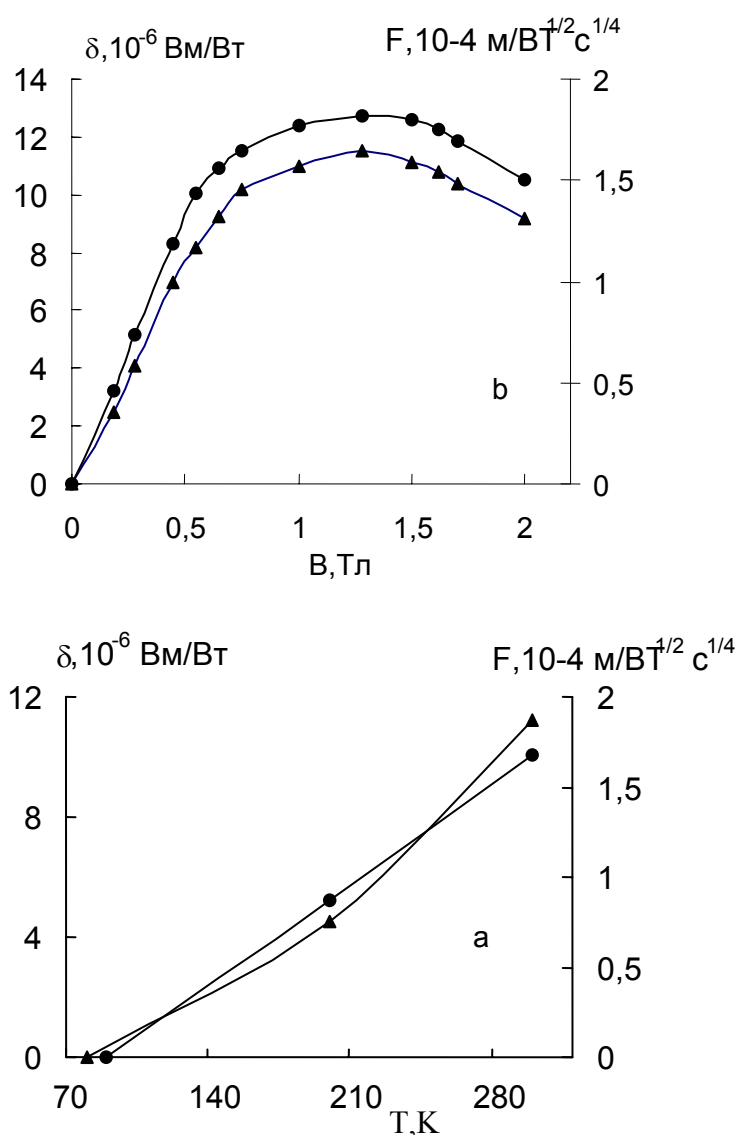


Рис. 2. Температурная (а) и полевая (б) зависимости  $\delta$  и  $F$ . Обозначения те же, что на рис. 1.

Как показали наши исследования [27], в интервале  $150-200$  К в  $\text{Ag}_2\text{Te}$ ,  $Z_{\text{TM}} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  и почти не зависит от  $T$ .



Поэтому  $Ag_2Te$  рекомендован как более эффективный материал для использования элемента Эттинггаузена в охлаждаемых устройствах..

Кроме того, элемент Эттинггаузена может применяться и как одна из ветвей гибридных охладителей Пельтье – Эттинггаузена, используемых в малогабаритных охлаждаемых приемниках ИК – излучения.

Подробные исследования [28-30] ФП в  $Ag_2Te$  позволяют сделать заключение о его использовании в качестве термоэлектрического преобразователя в области ФП для усиления слабых сигналов, используемых в измерительной технике.

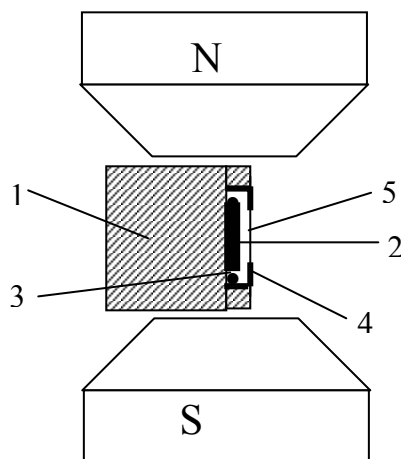


Рис. 3. Конструкция приемников ИК – излучения на эффекте Нернста - Эттинггаузена

Конструкция приемников: Конструкция приемников ИК – излучения на эффекте Н-Э, приведенная на рис. 3, состоит из теплопроводящего медного корпуса – 1, чувствительного элемента - 2, металлических контактов – 3, экрана – 4 и стеклянного окна – 5. Чувствительный элемент размерами  $(3 \times 2 \times 1)$  мм<sup>3</sup> прикреплялся к корпусу  $(12 \times 7 \times 6)$  мм<sup>3</sup> с помощью тонкого слоя клея БФ – 2, передняя поверхность зачернялась и герметично закрывалась тонким стеклянным окном. Корпус с чувствительным элементом помещался между полюсами электромагнита перед источником излучения.

1. Lovett D. R. //Phys.stat.sol., -1973 -v 17 -№ 2 -k 123
2. Чуйко Г. П. Получение и исследование кинетических свойств монокристаллов арсенида кадмия . Дис. канд. физ. – мат. наук, Кишинев:Институт прикладной физики, 1974.
3. Радауцан С. И., Арушанов Э. К., Чуйко Г. П. Материалы IV Всесоюзного симпозиума “Полупроводники с узкой запрещенной зоной и полуметаллы ”, Львов, 1975, ч. V, с. 18 – 21.
4. Goldsmid H. I., Ertt H.E.. //J. Phys D: Appl. Phys. -1973 -v 19 -№ 1 -k 19.
5. Goldsmid H. I., Ertt H.E.,Dixon A.I. //J. Phys D: Appl. Phys.- 1974- v 7- № 1- 131
6. Радауцан С. И., Арушанов Э. К., Бенда Я. И., Чуйко Г. П. //ДАН СССР.- 1975- т. 224- №3- с. 566.
7. Goldsmid H. I., Sydney K.R.//J. Phys D: Appl. Phys.- 1971- v 4- № 6-p. 869
8. Poul Wies, // Sol. stat. Elek.- 1968- v 11- № 10-p. 979.
9. Goldsmid H. I., J. //Phys D: Appl. Phys. 1972- v 5- № 7- p.1353.
10. Uher C., Goldsmid H. I. // J. Phys D: Appl. Phys.- 1972-v 5 - p.1478
11. Goldsmid H. I., J. Phys.E. - 1972- v 5 - p. 313.
12. Washwell. // Appl. Phys. Lett. – 1970 - v 4 - № 17 –p.164.

13. Радауцан С. И., Арушанов Э. К., Полупроводниковые материалы и их применение. Кишинев.: Штиница, 1976.
14. Радауцан С. И., Арушанов Э. К., Пругло В. И.. Полуметаллы и узкозонные полупроводники. . Кишинев.: Штиница, 1979 . 168 с.
15. Алиев С. А., Араслы Д.Г. //ФТП- 1978-т 12- № 5- с. 1030.
16. Катрич А. Б. , Кузьмичев В. М. //Квантовая электроника – 1978-т 5- № 9-с. 1949.
17. Алиев Т. А., Гашидзе Ф. М., Алиев С. А., Гаджиев Т. Г., Алиев Э. М. //ФТП- 1971- №5 -с. 328.
18. Цидильковский И. М. Термомагнитные явления в полупроводниках.М.: Физматгиз, 1960. -396с.
19. Аскеров Б. М. Кинетические эффекты в полупроволниках. Л.: Наука, 1970.
20. Смирнов И. А., Тмарченко В. И. Электронная теплопроводность в металлах и полупроводниках, Л.: Наука,1977 –151с.
21. Wagnі H., Weiss H.. //Solid. Stat. Electron.- 1965- №8 –р.241.
22. Elliott C. T.,Hiscocus S.E.R. //J. Phys D: Appl. Phys. –1969- №2 -р.1983
23. Горюнова Н. А., Муждаба В. М., Сергинов М., Шалыт С. С. //ФТТ- 1969-№ 11 - с.280.
24. Алиев С. А. Дис. Д-ра. фаз.-мат. наук. Баку: Институт Физики, 1975.
25. Алиев С. А., Селимзаде Р. И.,Гаджиев Т. Г. //Изв. Вузов СССР, сер. Физика, - 1986 - т 28 -с. 128.
26. Aliev S. A.. Zulfıgarov E. I.. Qadghiev T.G.. Celimzade R. I. //Radiation Effects Express. –1989-v 2- p. 149
27. Алиев С. А., Абдинов Д. Ш., Агаев З. Ф., Араслы Д. Г. //Изв. АН СССР, Неорг. мат., -1982 - т18 - № 6- с. 1044.
28. Алиев С. А., Алиев Ф. Ф., Гасанов З. С. // ФТТ- 1998 -т 40 - в 9- с.1693.
29. Алиев С. А., Алиев Ф. Ф., Пашаев Г. П, Вердиева Н. А. //ДАН АН Азерб. – 1999- в 1-2- с. 98
30. Алиев С. А., Гасанов З. С, Агаев З. Ф., Гусейнов Р. Д., НАН //Азерб., Хабарлар, сер. физ.-мат. и тех. Наук- 2002 - №5- с. 76.

## **İNFRAQIRMIZI TERMOMAQNİT ÇEVİRİCİLƏRİ**

**AĞAYEV Z.F., ARASLI D.H., ƏLİYEV S. A.,**

Məqalədə Nernst – Ettingshauzen termomaqnit effekti əsasında işləyən İQ- şüalanma çeviricilərinin əsas xarakteristikaları şərh edilmiş və göstərilmişdir ki, HgJdTe, HgSe, HgTe və Bi – Sb istilik seli qəbuledicilərinin yaradılması üçün ən perspektiv materiallardır.

## **IR- RADIATION THERMOMAGNETIC TRANSFORMERS**

**AGAYEV Z. F., ARASLY D. G., ALIEV S.A.,**

The paper represents the principal characteristics of IR- radiation transformers based on the N-E thermo magnetic effects. It is shown that the HgCdTe, HgSe, HgTe and Bi-Sb are the most effective materials for creating heat flow meters and detectors.