

Размерный эффект в гальваномагнитных явлениях в пленках висмута, легированного теллуром

© В.М. Грабов[†], Е.В. Демидов, В.А. Комаров, Д.Ю. Матвеев, А.А. Николаева*, Д. Маркушевс, Е.В. Константинов, Е.Е. Константинова

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 191186 Санкт-Петербург, Россия

* Институт электронной инженерии и нанотехнологий им. Д.В. Гицу Академии наук Молдовы, MD 2028 Кишинев, Республика Молдова

(Получена 5 сентября 2013 г. Принята к печати 12 сентября 2013 г.)

Приведены результаты экспериментального исследования гальваномагнитных явлений в монокристаллических и блочных пленках висмута, легированного теллуром, в интервале температур 77–300 К, в диапазоне толщин пленок 0.1–1 мкм. Показано, что в исследованных пленках концентрация носителей заряда не зависит от толщины, рассеяние носителей заряда осуществляется на фонах, поверхности пленок, дефектах структуры и границах кристаллитов. Величины и соотношение перечисленных вкладов в ограничение подвижности носителей заряда зависит от содержания теллура, толщины пленки, а также их монокристаллического или блочного состояния.

1. Введение

Исследования закономерностей изменения свойств вещества при переходе от массивного монокристалла к низкоразмерным структурам и наноструктурам на основе висмута [1–6] весьма актуальны и продолжают изучаться, что стимулируется в настоящее время интенсивным развитием нанофизики и нанотехнологий.

Результаты исследований, полученные в работах [2,5], впервые обеспечили возможность разделения вкладов поверхности и дефектов структуры в ограничение подвижностей носителей заряда в монокристаллических и текстурированных пленках висмута. При этом для совершенствования структуры пленок висмута, количественного учета дефектов структуры и снижения их влияния на явления переноса носителей заряда произведена оптимизация режимов получения пленок при контроле структуры методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) [4,6].

В работах [7,8] показано, что легирование кристаллов типа висмута донорной примесью теллура приводит к существенному увеличению концентрации электронов, смещению химического потенциала в зону проводимости до уровня, при котором в явлениях переноса принимают участие только электроны зоны проводимости, без заметного изменения исходной зонной структуры кристаллов. Достижимое при этом существенное упрощение явлений переноса и их теоретического описания позволило повысить точность их количественного анализа, что обеспечило установление общих закономерностей в температурной и концентрационной зависимостях явлений переноса в кристаллах типа висмута [7,8].

В работах [9–12] показано, что в пленках висмута, легированного теллуром, как и в кристаллах [7,8], увеличение концентрации примеси теллура приводит к расширению области слабого поля и к существенному уменьшению подвижности электронов. Авторы [10,13]

отмечают возможное увеличение предельной растворимости теллура и увеличение электрической активности примеси по сравнению с массивными кристаллами.

Целью данной работы является установление закономерностей в явлениях переноса в пленках висмута, легированного теллуром, использование преимуществ легирования кристаллов висмута донорной примесью [7,8] в установлении закономерностей размерных эффектов в пленках висмута.

Наряду с блочными пленками впервые были изготовлены методом зонной перекристаллизации [5] и исследованы монокристаллические пленки висмута с содержанием теллура 0.05 и 0.15 ат%, что позволило определить подвижности и концентрации носителей заряда в исследуемых структурах, аналогично [2,5] определить вклад дефектов структуры и поверхности в ограничение подвижности электронов.

2. Методика эксперимента

Для изготовления пленок висмута, легированного теллуром, использовался метод дискретного термического испарения (метод вспышки) в вакууме (остаточное давление $2 \cdot 10^{-3}$ Па). В качестве исходного материала использовался кристалл висмута с соответствующей концентрацией примеси теллура. Содержание теллура в исходном кристалле контролировалось времяпролетной масс-спектрометрией. Осаждение пленок при вакуумном напылении проводилось при технологических параметрах, оптимальных для получения пленок висмута [4]: скорость осаждения 10 нм/с, температура подложки 120°C, отжиг при температуре 240°C продолжительностью 30 мин. В качестве подложки для пленок висмута, легированного теллуром, использовалась слюда (мусковит), оказывающая ориентирующее действие на осаждаемую пленку висмута: ось C_3 всех кристаллитов ориентирована перпендикулярно плоскости подложки [14,15]. Монокристаллические пленки создавались

[†] E-mail: vmgrabov@yandex.ru

методом зонной перекристаллизации под покрытием из KBr, скорость прохода зоны составляла 2 см/ч [5]. Структура всех пленок контролировалась методами АСМ [14,16] и рентгеноструктурным анализом. Измерения удельного сопротивления, магнетосопротивления и коэффициента Холла проводились в стационарных условиях, на постоянном токе в постоянном магнитном поле при ступенчатом изменении температуры со стабилизацией в точке измерения в интервале температур $T = 77-300$ К.

Относительная погрешность при измерении удельного сопротивления составляла $\sim 12\%$, постоянной Холла $\sim 14\%$, магнетосопротивления $\sim 5\%$.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Методом термического испарения в вакууме получены блочные пленки висмута с концентрацией теллура 0.05 и 0.15 ат%, толщиной d от 60 нм до 1 мкм. Методом зонной перекристаллизации под покрытием впервые получены монокристаллические пленки висмута с концентрацией теллура 0.05 и 0.15 ат%. В связи со сложностью процесса зонной перекристаллизации, особенно образцов малой толщины, были изготовлены и исследованы монокристаллические пленки толщиной 0.8–1 мкм.

Исследования структуры методами АСМ и рентгеноструктурного анализа показали, что все пленки, полученные термическим испарением, имели блочную структуру с ориентацией плоскости (111) всех кристаллитов параллельно плоскости подложки и размерами блоков в несколько раз больше толщины пленки. Пленки, полученные методом зонной перекристаллизации, имели монокристаллическую структуру с ориентацией плоскости (111) также параллельно плоскости подложки.

Измеряемые величины удельного сопротивления ρ , коэффициента Холла R_H и магнетосопротивления $\Delta\rho/\rho$ (при индукции магнитного поля, параллельной нормали к плоскости пленки, $\mathbf{B} \parallel \mathbf{n}$) в области слабого магнитного поля соответствуют компонентам ρ_{11} , $R_{12,3}$, $\rho_{11,33}$ монокристалла висмута [17].

В этих условиях в двухзонном приближении (электроны L -экстремумов зоны проводимости и дырки T -экстремума валентной зоны) исследуемые коэффициенты переноса связаны с концентрацией и подвижностью носителей заряда следующим образом [15]:

$$1/\rho = en \frac{1}{2}(u_1^- + u_2^-) + ep u^+, \quad (1)$$

$$R_H = -e\rho^2(nu_1^-u_2^- - pu^+), \quad (2)$$

$$\rho_{11,33} = \frac{\Delta\rho}{B^2} = \rho^2 \left[ep u^+ + \frac{1}{2} en u_1^- u_2^- (u_1^- + u_2^-) \right] - \frac{R_H^2}{\rho}, \quad (3)$$

где ρ — удельное сопротивление, R_H — коэффициент Холла, $\Delta\rho$ — изменение удельного сопротивления

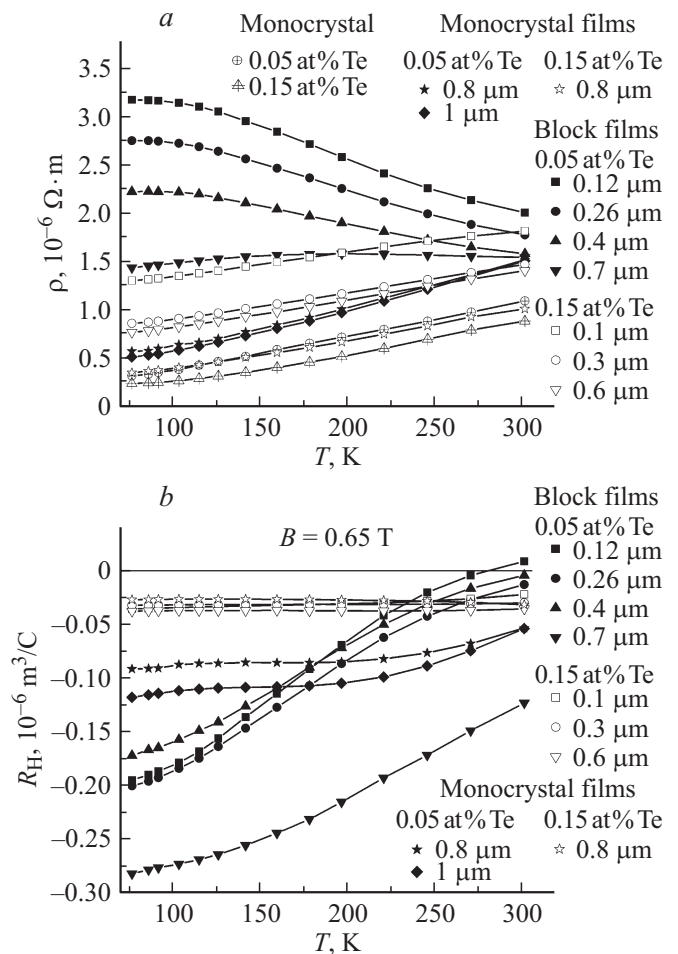


Рис. 1. Температурные зависимости удельного сопротивления (а) и коэффициента Холла (б) блочных и монокристаллических пленок висмута, легированного теллуром в количестве 0.05 и 0.15 ат%, различной толщины.

в магнитном поле, B — индукция магнитного поля, u_1^-, u_2^-, u^+ — подвижности электронов и дырок в тригональной плоскости, n, p — концентрации электронов и дырок, e — заряд электрона.

На рис. 1, 2 представлены температурные зависимости удельного сопротивления, коэффициента Холла и магнетосопротивления исследуемых пленок, а также удельного сопротивления массивных монокристаллов висмута, легированного теллуром в той же концентрации [7,8,17].

Характер температурной зависимости удельного сопротивления и коэффициента Холла блочных и монокристаллических пленок Bi с содержанием теллура 0.15 ат% такой же, как для монокристаллов того же состава. Характерная для металлов, близкая к линейной, температурная зависимость удельного сопротивления, близкие значения коэффициента Холла в монокристаллах, монокристаллических и блочных пленках и независимость его от температуры указывают на то, что носителями заряда являются только электроны зоны проводимости, концентрация которых одинакова в пленках и монокристаллах и не зависит от температуры в исследованном

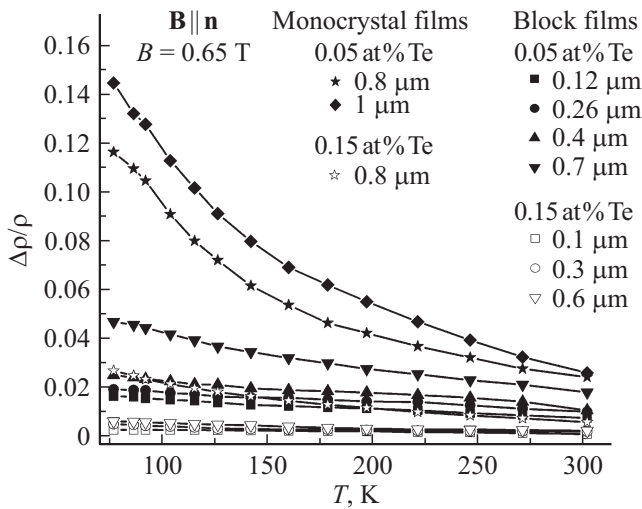


Рис. 2. Температурные зависимости относительного магнетосопротивления блочных и монокристаллических пленок висмута, содержащего 0.05 и 0.15 ат% теллура, различной толщины.

интервале [7,8]. В этом случае выражения (1)–(3) для коэффициентов переноса упрощаются:

$$1/\rho = en \frac{1}{2}(u_1^- + u_2^-), \quad (4)$$

$$R_H = -e\rho^2 n u_1^- u_2^-, \quad (5)$$

$$\rho_{11,33} = \frac{\Delta\rho}{B^2} = \frac{1}{2}\rho^2 e n u_1^- u_2^- (u_1^- + u_2^-) - \frac{R_H^2}{\rho}. \quad (6)$$

Разность значений удельного сопротивления монокристаллических пленок висмута (ρ_{film}) заданной толщины и монокристаллов висмута (ρ_{mon}), содержащих 0.15 ат% теллура, практически не зависит от температуры в исследованном интервале и составляет для $d = 0.8$ мкм $\rho_{\text{film}} - \rho_{\text{mon}} \approx 0.12 \cdot 10^{-6}$ Ом·м. Это в соответствии с правилом Матиссена позволяет определить не зависящий от температуры вклад классического размерного эффекта в ограничение средней подвижности носителей заряда $(1/2)(u_1^- + u_2^-) = u_s^-$:

$$\frac{1}{u_s^-} = \frac{1}{u_{\text{film}}^-} - \frac{1}{u_{\text{mon}}^-} = (\rho_{\text{film}} - \rho_{\text{mon}})en \approx 0.5 (\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с})^{-1}.$$

Здесь $1/u_s^-$ — средняя обратная подвижность, обусловленная рассеянием носителей заряда на поверхности пленки, $1/u_{\text{film}}^-$ и $1/u_{\text{mon}}^-$ — средние обратные подвижности электронов в пленке и монокристалле.

В блочных пленках висмута с концентрацией теллура 0.05 ат%, в отличие от соответствующих монокристаллов и монокристаллических пленок, происходит плавное возрастание удельного сопротивления и абсолютной величины коэффициента Холла при понижении температуры. В области $T = 77\text{--}110$ К на температурной зависимости удельного сопротивления блочных пленок толщиной < 0.4 мкм наблюдается „плато“, откуда

следует, что носителями заряда в этой области температур являются только электроны зоны проводимости, концентрация которых не зависит от температуры. Подвижность электронов также не зависит от температуры в данном интервале вследствие преобладания рассеяния на поверхности пленок, границах кристаллитов и дефектах структуры. Интересно отметить, что в этой области температур коэффициент Холла пленок висмута, легированного теллуrom, по абсолютной величине существенно уменьшается с уменьшением толщины, что обычно связывают с увеличением концентрации носителей заряда [10,11,13]. Однако, как следует из выражений (4) и (5) с учетом того, что в кристаллах висмута $u_2^- \ll u_1^-$ [17], наблюдаемая зависимость коэффициента Холла от толщины пленок может быть обусловлена также изменением соотношения компонентов подвижности носителей заряда вследствие размерного эффекта [6]:

$$R_H = -\frac{4}{en} \frac{u_2^-}{u_1^-}. \quad (7)$$

Независимость концентрации электронов от толщины пленок в области температур 77–110 К подтверждается линейной зависимостью удельного сопротивления (ρ) от обратной величины толщины пленок: $\rho = a + b(1/d)$. При $T = 77$ К $a = (1.2 \pm 0.3) \cdot 10^{-6}$ Ом·м, $b = (0.30 \pm 0.03) \cdot 10^{-12}$ Ом·м².

Как следует из рис. 2, относительное магнетосопротивление, а следовательно, и подвижность носителей заряда в пленках висмута (выражение (3)), содержащего 0.05 ат% теллура, толщиной менее 0.4 мкм при изменении температуры остаются практически постоянными. Поэтому уменьшение удельного сопротивления и абсолютной величины коэффициента Холла при повышении температуры выше 110 К указывает на увеличение концентрации носителей заряда вследствие температурного возбуждения электронно-дырочных пар. Важно отметить, что температурное возрастание концентрации носителей заряда становится заметным только в тонких пленках при существенном ограничении подвижности носителей заряда вследствие размерного эффекта. Оно незаметно на температурных зависимостях удельного сопротивления монокристаллов и достаточно толстых монокристаллических пленок висмута, легированного теллуrom, вследствие существенной температурной зависимости подвижности носителей заряда при рассеянии на фононах при температурах выше температуры Дебая $u \propto T^{-1}$ [7,8].

Удельное сопротивление блочных пленок висмута увеличивается, а магнетосопротивление уменьшается с уменьшением толщины, особенно при низких температурах. Чем больше концентрация примеси теллура, тем меньше это изменение (рис. 1, 2), так как при увеличении концентрации легирующей примеси теллура в висмуте происходит существенное уменьшение подвижности электронов при рассеянии на фононах [5,8], в результате чего размерный эффект проявляется слабее при той же толщине пленок.

Коэффициент Холла пленок висмута с 0.05 ат% Те имеет отрицательный знак практически во всем исследованном интервале температур. Существенное уменьшение величины коэффициента Холла при повышении температуры и переход к положительным значениям в пленке наименьшей исследованной толщины 0.14 мкм при температуре 300 К также указывают на возрастание концентрации носителей заряда вследствие температурного возбуждения электронно-дырочных пар.

4. Механизмы рассеяния носителей заряда в пленках висмута, легированного теллуром

Наиболее просто провести расчет подвижности электронов для пленок с 0.15 ат% Те с использованием выражения (4) и с учетом того, что при данной концентрации теллура носителями заряда являются только электроны и их концентрация не зависит от температуры, а также соотношения $u_2^- \ll u_1^-$ [17]. По данным для массивных кристаллов Вi с 0.15 ат% Те концентрация электронов равна $n = 2.95 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ [17]. Температурные зависимости подвижности электронов u_1^- для пленок Вi с 0.15 ат% Те различной толщины приведены на рис. 3, а.

Для анализа экспериментальных результатов по явлениям переноса в пленках Вi с 0.05 ат% Те воспользуемся тем, что в случае сильного ограничения подвижности носителей заряда поверхностью пленки и дефектами структуры значения магнетосопротивления, а следовательно, и подвижности слабо зависят от температуры (рис. 2) и изменение удельного сопротивления отражает температурную зависимость концентрации носителей заряда. Длина свободного пробега электронов в массивном кристалле Вi с 0.05 ат% Те при температуре 300 К составляет $\sim 300 \text{ нм}$ [17,18]. Для создания условий существенного ограничения подвижности носителей заряда поверхностью пленки и дефектами структуры во всем исследуемом интервале температур была изготовлена пленка Вi с 0.05 ат% Те толщиной 60 нм и была измерена температурная зависимость ее удельного сопротивления (см. таблицу). Как следует из экспериментальных результатов, отношение значений удельного сопротивления при 77 и 300 К, $\rho(77)/\rho(300)$, для пленок толщиной $< 0.3 \text{ мкм}$ почти одинаково (рис. 1, таблица). На основе экспериментально полученной зависимости удельного сопротивления от температуры для пленки толщиной 60 нм, предполагая примерно одинаковую и не зависящую от температуры подвижность электронов и дырок в исследуемом образце, можно найти концентрацию носителей заряда $n(T) - n(77) = p(T)$, обусловленную возбуждением электронно-дырочных пар при повышении температуры, считая значение концентрации электронов при 77 К $n(77)$, таким же, как и в массивном кристалле (при 77 К концентрация электронов $n(77) = 9.83 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$, кон-

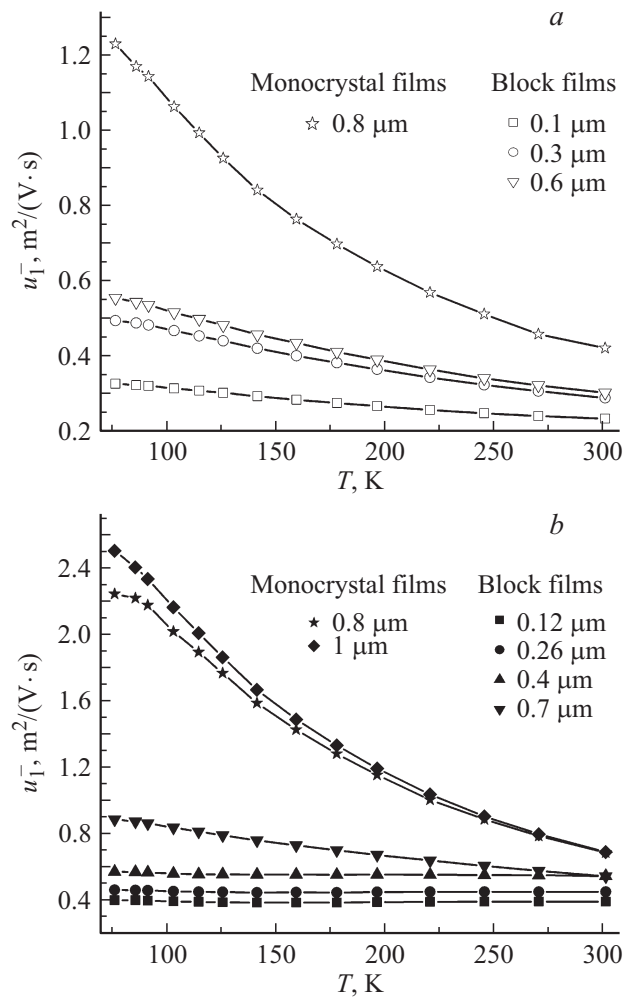


Рис. 3. Температурные зависимости подвижности электронов в блочных и монокристаллических пленках висмута, легированного теллуром в количестве 0.15 (а) и 0.05 ат% (б), различной толщины.

центрация дырок $p(77) = 0$ [17]). Таким образом,

$$p(T) = \frac{1}{2} n(77) \left(\frac{\rho(77)}{\rho(T)} - 1 \right), \quad (8)$$

$$n(T) = n(77) + p(T). \quad (9)$$

С использованием формул (8), (9) и экспериментально полученной температурной зависимости удельного сопротивления пленки Вi с 0.05 ат% Те толщиной 60 нм была рассчитана температурная зависимость концентрации носителей заряда, обусловленная возбуждением электронно-дырочных пар. Результаты расчета приведены в таблице.

На основе температурных зависимостей удельного сопротивления и коэффициента Холла (рис. 1) с использованием выражений (1) и (2), полученных значений концентрации носителей заряда (см. таблицу) и отношения u_1^-/u_2^- , рассчитанного по выражению (7) при 77 К, для каждой пленки Вi с 0.05 ат% Те в предположении

Температурная зависимость удельного сопротивления, концентрации электронов и дырок в пленке Вi с 0.05 ат% Те толщиной 60 нм

T, K	$\rho, 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$	$n, 10^{25} \text{ м}^{-3}$	$p, 10^{23} \text{ м}^{-3}$
77	6.35	0.98	0
86	6.34	0.98	0.08
103	6.21	1.00	1.17
126	5.98	1.02	3.11
142	5.82	1.03	4.58
160	5.64	1.04	6.21
178	5.45	1.06	8.15
197	5.29	1.08	9.93
245	4.82	1.14	15.7
270	4.61	1.17	18.6
300	4.39	1.20	22.1

независимости отношения u_1^-/u_2^- от температуры и его зависимости от толщины пленок была рассчитана температурная зависимость подвижности электронов. Результаты приведены на рис. 3, б.

Во всех исследованных пленках происходит уменьшение подвижности носителей заряда с уменьшением толщины, что обусловлено проявлением классического размерного эффекта.

В случае независимости вкладов различных механизмов рассеяния в ограничение подвижностей носителей заряда фононами ($1/u_{1\text{ph}}^-$), поверхностью ($1/u_{1s}^-$) и дополнительными по отношению к массивному монокристаллу дефектами, присутствующими в пленках (например, границами кристаллитов) ($1/u_{1\text{def}}^-$), можно использовать правило Матиссена: $1/u_1^- = 1/u_{1\text{ph}}^- + 1/u_{1s}^- + 1/u_{1\text{def}}^-$

С целью разделения вкладов различных механизмов рассеяния в ограничение подвижности электронов в

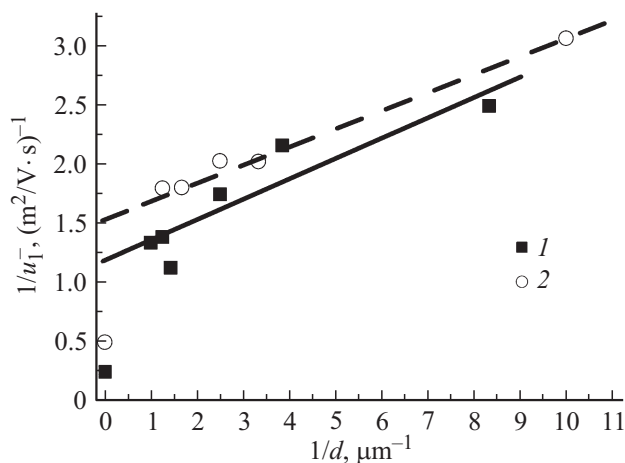


Рис. 4. Зависимости обратного значения подвижности электронов $1/u_1^-$ от обратного значения толщины $1/d$ в блочных пленках висмута с содержанием теллура 0.05 (1) и 0.15 ат% (2) при 77 К. При $1/d = 0$ приведены значения обратных подвижностей электронов для массивного монокристалла.

пленках висмута, легированного теллуrom, для блочных пленок были построены зависимости $1/u_1^- = f(1/d)$. Результаты для температуры 77 К приведены на рис. 4. На этом же рисунке отмечены значения обратных подвижностей электронов в монокристаллах висмута, содержащего 0.05 и 0.15 ат% Те.

Как видно из рис. 4, зависимости $1/u_1^- = f(1/d)$ для блочных пленок близки к линейным. Экстраполяция этих зависимостей при данной температуре к $1/d \rightarrow 0$ дает значения подвижностей носителей заряда, обусловленные рассеянием на фононах и дополнительных дефектах структуры пленок, т.е. значения $1/u_{1\text{ph}}^- + 1/u_{1\text{def}}^-$. Вычитанием из этого значения обратной подвижности массивного монокристалла висмута данного состава $1/u_{1\text{ph}}^-$ определяется вклад дефектов структуры пленки в ограничения этой подвижности. Из рис. 4 видно, что данный вклад не зависит от концентрации теллура и составляет $1/u_{1\text{def}}^- \approx 1 (\text{м}^2/\text{В}\cdot\text{с})^{-1}$.

5. Заключение

С применением оптимальных режимов изготовлены блочные пленки и впервые получены монокристаллические пленки висмута, содержащего 0.05, 0.15 ат% теллура, а также исследованы гальваномагнитные явления в этих пленках.

С учетом только электронного типа проводимости в пленках висмута с 0.15 ат% теллура и определяющего ограничения подвижности носителей заряда толщиной пленки в широком интервале температур в пленках висмута с 0.05 ат% теллура толщиной 60 нм определены концентрации и подвижности носителей заряда.

Показано, что в пленках висмута, легированного теллуrom, в интервале температур 77–300 К и толщин от 0.1 мкм и более концентрация носителей заряда не зависит от толщины пленок.

Путем сравнения подвижностей носителей заряда в монокристаллах, монокристаллических и блочных пленках различной толщины определены вклады взаимодействия носителей заряда с фононами, поверхностью, границами и структурными дефектами блоков в пленках висмута, легированного теллуrom. Установлена линейная зависимость обратной подвижности электронов от обратной толщины пленок висмута, легированного теллуrom.

Полученные результаты дополняют систему закономерностей проявления размерных эффектов ограничения подвижности носителей заряда при переходе от массивных монокристаллов к низкоразмерным объектам в виде монокристаллических и блочных пленок висмута, легированного теллуrom, различной толщины.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации. В рамках реализации Федеральной целевой программы „Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.“ (соглашение № 14.В37.21.0891)

и государственного задания Министерства на оказание услуг (выполнение работ), проект № 2.7576.2013.

Список литературы

- [1] Ю.Ф. Огрин, В.Н. Луцкий, М.И. Елинсон. Письма ЖЭТФ, **3** (3), 114 (1966).
- [2] В.М. Грабов, Е.В. Демидов, В.А. Комаров. Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед., № 2, 81 (2011).
- [3] Н.С. Каблукова, В.А. Комаров, Е.В. Демидов, Е.Е. Христинич. Изв. Рос. гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена, **153** (2), 13 (2012).
- [4] В.М. Грабов, Е.В. Демидов, В.А. Комаров. ФТТ, **52** (6), 1219 (2010).
- [5] В.М. Грабов, В.А. Комаров, Е.В. Демидов, М.М. Климантов. Изв. Рос. гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена, **122**, 22 (2010).
- [6] В.А. Комаров, М.М. Климантов, М.М. Логунцова, С.Н. Пылина, Е.В. Демидов. Изв. Рос. гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена, **6** (15), 131 (2006).
- [7] Г.А. Иванов, В.М. Грабов. ФТП, **29** (5), 1040 (1995).
- [8] В.М. Грабов, А.С. Парахин, Л.С. Багулин, О.Н. Урюпин. Изв. Рос. гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена, **6** (15), 86 (2006).
- [9] W. Schnelle, U. Dillner. Phys. Status Solidi A, **115** (2), 505 (1989).
- [10] U. Dillner, W. Schnelle. Phys. Status Solidi A, **116** (1), 337 (1989).
- [11] U. Dillner, W. Schnelle. Phys. Status Solidi A, **116** (2), 715 (1989).
- [12] J. Heremans, D.T. Morelli, D.L. Partin, C.H. Olk, C.M. Thrush, T.A. Perry. Phys. Rev. B, **38** (15), 10280 (1988).
- [13] Д.С. Орлова, Е.И. Рогачева. Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии, **7** (2), 487 (2009).
- [14] В.М. Грабов, Е.В. Демидов, В.А. Комаров. ФТТ, **50** (7), 1312 (2008).
- [15] В.А. Комаров, Д.Ю. Матвеев, И.И. Худякова, А.Н. Крушельницкий. Изв. Рос. гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена, **147**, 50 (2012).
- [16] В.М. Грабов, Е.В. Демидов, В.А. Комаров, М.М. Климантов. ФТТ, **51** (4), 800 (2009).
- [17] В.М. Грабов, В.А. Комаров, И.И. Худякова, Т.А. Яковлева. *Физика полуметаллов и низкоразмерных структур на их основе* (СПб., Изд-во Рос. гос. пед. ун-та им. А.И. Герцена, 2010).
- [18] Ю.Ф. Комник. *Физика металлических пленок* (М., Атомиздат, 1979) гл. 3, с. 124.

Редактор Л.В. Шаронова

The size effect in galvanomagnetic phenomena in bismuth films, doped with tellurium

V.M. Grabov, E.V. Demidov, V.A. Komarov,
D.Yu. Matveev, A.A. Nikolaeva*, D. Markushevs,
E.V. Konstantinov, E.E. Konstantinova

Herzen State Pedagogical University of Russia,
 191186 St. Petersburg, Russia

* Institute of Electronic Engineering and
 Nanotechnologies,
 Academy of Sciences of Moldova,
 MD 2028 Kishinev, The Republic of Moldova

Abstract The experimental results of galvanomagnetic phenomena in monocrystalline and polycrystalline films of bismuth doped with tellurium in the temperature range 77–300 K and the thickness range 0.1–1 μm are presented. It is shown that carrier density in the studied films does not depend on the film thickness. Carriers scatter on phonons, the surface of a film, the crystallite boundaries and structural defects. The values and the ratio of these contributions to the carrier mobility restriction depend on the tellurium concentration, film thickness and poly- or monocrystalline structure.