

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 373
ББК 74.52

© Степанов Н. П., 2013
© Наливкин В. Ю., 2013

Н. П. Степанов
В. Ю. Наливкин

**Применение подходов Паули и Ландау-Пайерлса
для расчета магнитной восприимчивости кристаллов
 $Vi_{2-x}Sb_xTe_3$ ($0 < x \leq 1$), в области собственной
проводимости**

Приведены результаты экспериментального исследования температурных зависимостей магнитной восприимчивости кристаллов $Vi_2Te_3-Sb_2Te_3$, содержащих 10, 25 и 50 % Sb_2Te_3 , выполненного на СКВИД-магнетометре (MPMS MultiVu) фирмы Quantum Design (USA), в температурном интервале от 2 до 400 К, с учетом анизотропии магнитной восприимчивости.

Исследование температурного поведения магнитной восприимчивости монокристаллов Vi_2Te_3 в области собственной проводимости было выполнено в работе [1], результаты которой отражены на рис.1, из которого видно, что для всех образцов, начиная с температур, обозначенных стрелками, наблюдается линейное уменьшение величины диамагнитной восприимчивости. При этом, $\chi_{||}$ оказывается

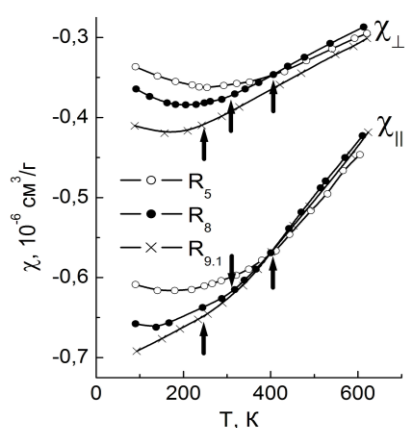


Рис.1. Температурные зависимости магнитной восприимчивости кристаллов Vi_2Te_3 , полученные в работе [1].

наиболее чувствительна к изменению температуры, чем χ_{\perp} , что приводит к уменьшению анизотропии $\chi_{||}/\chi_{\perp}$. Кристаллы $Vi_2Te_3-Sb_2Te_3$ обладают ромбоэдрической структурой с пространственной группой D_{3d}^5 ($R3m$) и их строение можно представить в виде набора слоев, перпендикулярных оси симметрии третьего порядка C_3 . Нижние индексы величин $\chi_{||}$ и χ_{\perp} характеризуют взаимную ориентацию вектора напряженности магнитного поля H и C_3 . Стрелки на рис.1 соответствуют температурам, при которых наблюдается

увеличение электропроводности на 10 процентов, что свидетельствует о начале перехода кристаллов Vi_2Te_3 к собственной проводимости [1] и подтверждается

результатами исследований температурных зависимостей коэффициентов Холла, термоэдс, Нернста, приведенных в работе [2].

Аналогичные закономерности в поведении $\chi(T)$ были получены и в ходе нашего исследования монокристаллов твердых растворов $\text{Bi}_{1.8}\text{Sb}_{0.2}\text{Te}_3$, $\text{Bi}_{1.5}\text{Sb}_{0.5}\text{Te}_3$, BiSbTe_3 , результаты которого приведены на рис.2. Измерения магнитной восприимчивости в диапазоне температур от 2 до 400 К с интервалом 3 К проводились в магнитных полях до 30 кЭ на сверхпроводящем квантовом интерферометре Джозефсона (SQUID – магнетометре) при двух ориентациях вектора напряженности магнитного поля H по отношению к C_3 ($H \parallel C_3$ и $H \perp C_3$). Относительная погрешность измерений не превышает 2%.

Из рис.2 видно, что закономерности изменения χ в высокотемпературной области, характерные для образцов Bi_2Te_3 , сохраняются и для кристаллов твердых растворов $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$. Переход к уменьшению величины диамагнитной восприимчивости также наблюдается в области наступления собственной проводимости. Действительно, как следует из результатов исследований температурных зависимостей термоэдс, электропроводности, а также коэффициентов Нернста и Нернста-Эттингсгаузена смешанных твердых растворов $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$, содержащих до 50% Sb_2Te_3 , в области температур от 250 до 350 К носители заряда переходят в невырожденное состояние [3].

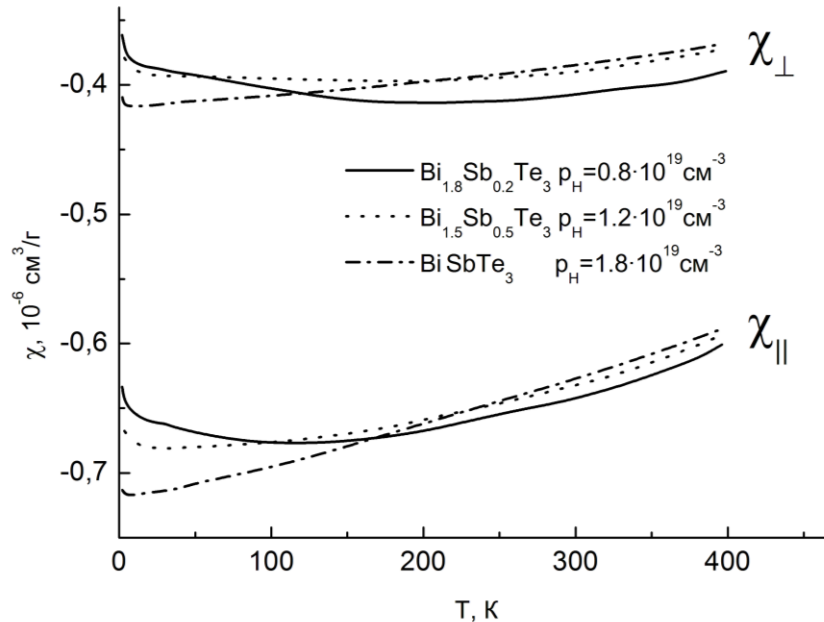


Рис.2. Температурные зависимости магнитной восприимчивости кристаллов $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$ ($0 < x \leq 1$).

Для описания наблюдаемого на рис.2 поведения $\chi(T)$ в области высоких температур рассмотрим возможные вклады в восприимчивость полупроводникового кристалла

$$\chi = \chi^G + \chi^D + \chi^{eh}, \quad (1)$$

где χ^G , χ^D , χ^{eh} – восприимчивости кристаллической решетки, дефектов и свободных носителей заряда соответственно. Как было показано в работе [1], величина восприимчивости кристаллической решетки Bi_2Te_3 изотропна и практически не зависит от температуры. Используя экспериментальные данные о величине анизотропии магнитной восприимчивости $\chi_{\parallel}/\chi_{\perp}$ и анизотропии эффективных масс легких дырок, определенной в ходе многочисленных гальваномагнитных исследований [4], в работе [5] было определено численное значение величины вклада кристаллической решетки в образцах $\text{Bi}_{1.8}\text{Sb}_{0.2}\text{Te}_3$, $\text{Bi}_{1.5}\text{Sb}_{0.5}\text{Te}_3$, BiSbTe_3 $\chi^G \approx -0.35 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{г}$. Оценки, приведенные в работе [1], показывают, что магнитной восприимчивостью дефектов решетки χ^D в кристаллах Bi_2Te_3 , можно пренебречь.

Таким образом, для описания температурной зависимости магнитной восприимчивости кристаллов $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$ ($0 < x \leq 1$) в области собственной проводимости необходимо рассматривать вклад свободных носителей заряда, подобно тому, как это было сделано в работе [5], в которой были использованы подходы Паули и Ландау-Пайерлса для анализа магнитного отклика кристалла, находящегося в вырожденном состоянии. Переход электронной системы кристалла в невырожденное состояние при температурах больших 250 К обуславливает необходимость использования выражения

$$\chi_i^{eh} = \frac{\mu_B^2}{k_0} \cdot \frac{n_i}{T} \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{m_0}{m_n^*} \right)^2 \right) + \frac{\mu_B^2}{k_0} \cdot \frac{(p_0 + p_i)}{T} \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{m_0}{m_p^*} \right)^2 \right). \quad (2)$$

В данном выражении T – абсолютная температура, k_0 – постоянная Больцмана, μ_B – магнетон Бора, m_0 – масса свободного электрона, n_i и p_i – концентрации собственных электронов и дырок, m_n^* и m_p^* – их эффективные массы, p_0 – концентрация примесных дырок, а $p = p_0 + p_i$ – общая концентрация дырок. Как известно, соотношение между парамагнитной и диамагнитной составляющими магнитной восприимчивости свободных носителей заряда не изменяется при варьировании степени вырождения. Однако, это соотношение может изменяться, например, в случае увеличения эффективных масс носителей заряда и их анизотропии. С учетом анизотропии эффективных масс, выражение (2) должно быть переписано в следующем виде

$$\chi_{\perp}^{eh} = \frac{\mu_B^2}{k_0} \cdot \frac{n_i}{T} \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{m_0^2}{m_{n\perp}^* m_{n\parallel}^*} \right) \right) + \frac{\mu_B^2}{k_0} \cdot \frac{p}{T} \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{m_0}{m_{p\perp}^* m_{p\parallel}^*} \right) \right), \quad (3)$$

$$\chi_{\parallel}^{eh} = \frac{\mu_B^2}{k_0} \cdot \frac{n_i}{T} \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{m_0}{m_{n\perp}^*} \right)^2 \right) + \frac{\mu_B^2}{k_0} \cdot \frac{p}{T} \left(1 - \frac{1}{3} \left(\frac{m_0}{m_{p\perp}^*} \right)^2 \right). \quad (4)$$

При условии, что $\chi^G(T) = const$ и $\chi^D = 0$, температурное изменение χ связано с поведением χ^{eh} . В соответствии с выражениями (3) и (4) величина χ_{\parallel}^{eh} , определяется только m_{\perp}^* в отличии от χ_{\perp}^{eh} , зависящей как от m_{\perp}^* , так и от m_{\parallel}^* . В связи с более высокой чувствительностью χ_{\parallel} к изменению температуры и зависимостью χ_{\parallel}^{eh} только от одной массы m_{\perp}^* , именно эту компоненту анизотропной магнитной восприимчивости целесообразно выбрать для исследования причин, обуславливающих наблюдаемую картину уменьшения диамагнитного отклика кристаллов с ростом температуры в области собственной проводимости.

Как следует из выражения (4), температурная зависимость магнитной восприимчивости обусловлена изменением таких параметров как n_i , p и m_{\perp}^* . Изменение концентрации собственных носителей заряда с ростом температуры можно рассчитать в соответствии с выражением

$$n_i = p_i = \frac{(2\sqrt{m_n m_p} k_0 T)^{3/2}}{4\pi^{3/2} \hbar^3} \exp\left(-\frac{E_g}{2k_0 T}\right). \quad (5)$$

В первом приближении будем считать $m_n = m_p$, \hbar – постоянная Планка, $E_g = 120$ мэВ – ширина запрещенной зоны в кристаллах $Bi_2Te_3-Sb_2Te_3$, содержащих от 24.2 до 60 мол. % Sb_2Te_3 [3].

Таким образом, зная закономерность изменения концентрации собственных носителей заряда, можно, исходя из выражения (4), определить изменение эффективной массы m_{\perp}^* , необходимое для обеспечения наблюдаемого изменения χ_{\parallel}^{eh} , а, соответственно, и $\chi_{\parallel}(T)$ в диапазоне от 200 до 400 К. Отметим, что в ходе расчета $\chi_{\parallel}(T)$ была учтена магнитная восприимчивость примесных носителей заряда p_0 – легких дырок, концентрация которых в исследованных нами кристаллах практически не изменяется, начиная с температур 50 К [4], и составляет $p_0 \approx 0.25 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

Результаты расчета m_{\perp}^* приведены в таблице, из которой видно, что для того, чтобы обеспечить наблюдаемое уменьшение абсолютных значений $\chi_{\parallel}(T)$ с ростом температуры, интерпретируя его как уменьшение абсолютных значений χ_{\parallel}^{eh} , необходимо увеличивать значения m_{\perp}^* легких носителей заряда. Причем, это увеличение становится явно выраженным в диапазоне температур больших 300 К, в котором концентрация собственных носителей заряда начинает превышать концентрацию примесных. Увеличение m_{\perp}^* согласуется с данными, полученными в ходе исследования и интерпретации температурных зависимостей коэффициента

термоэдс и электропроводности, приведенных в работе [4], в которой говорится, что температурная зависимость эффективной массы может быть обусловлена двумя независимыми причинами. Первая связана с гармоническими колебаниями кристаллической решетки, а вторая - с так называемой непараболичностью энергетического спектра, проявляющейся при изменении положения уровня химического потенциала.

Таблица.

Экспериментальные значения магнитной восприимчивости χ_{\parallel} и восприимчивости свободных носителей заряда $\chi_{\text{expl}}^{eh} = \chi_{\parallel} - \chi^G$, расчет концентрации $p = p_0 + p_i + n_i$, и эффективной массы (m_{\perp}/m_0). В качестве начальных параметров было принято: $E_g = 120$ мэВ, $p_0 = 0.25 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $\chi^G = -0.35 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{Г}$.

T, К	$\chi_{\parallel} \cdot 10^6, \text{ см}^3/\text{Г}$	$\chi_{\text{expl}}^{eh} \cdot 10^6, \text{ см}^3/\text{Г}$	$p \cdot 10^{-19}, \text{ см}^{-3}$	m_{\perp}/m_0
250	-0.644	-0.294	0.37	0.100
300	-0.627	-0.277	0.51	0.111
370	-0.600	-0.250	0.83	0.132
400	-0.588	-0.238	1.01	0.144

Библиографический список

1. Mansfield R. Proc. Phys. Soc., **74**, 599 (1960).
2. Mansfield R., W. Williams. Proc. Phys. Soc., **72**, 733 (1958).
3. Иванова Л. Д., Гранаткина Ю.В. Неорган. материалы, **36**, 810 (2000).
4. Гольцман Б. М., Кудинов В. А., Смирнов И. А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3 (М., Наука, 1972), 320с.
5. Степанов Н. П., Наливкин В. Ю., Потапов Г. А. ФТП, 46, 24 (2012).

© Степанова Л. Э., 2013

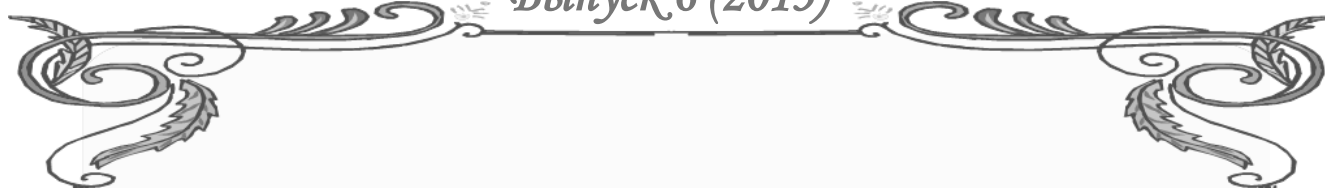
УДК 373
ББК 74.52

Л. Э. Степанова
Технологии непрерывного
тестирования в процессе обучения
математике

Современный мир характеризуется наличием большого количества информации, в том числе и математической, и темпы роста этой информации продолжают увеличиваться. Приведённый фактор лежит в основе главного противоречия в сфере образования: между ростом объёмов учебной информации, с одной стороны, и ограниченностью, или даже уменьшением времени на её усвоение, с другой. Разрешение этого противоречия в рамках «знаниевого» подхода к образованию становится всё более проблематичным. В этих условиях актуальность приобретает современная образовательная парадигма, обусловленная мировой тенденцией глобализации и основанная на компетентностном подходе. Главная идея этого подхода состоит в усилении практической, предметно-профессиональной направленности образования. Основные положения компетентностного подхода к образованию в РФ нашли отражение в таких документах как «Стратегия модернизации содержания общего образования», Федеральный закон «Об образовании», а также в Государственных Образовательных стандартах высшего и среднего профессионального образования третьего поколения. Новая парадигма образования потребовала разработки новых гибких педагогических технологий, позволяющих с максимальной оперативностью адаптироваться к текущим изменениям, повысить эффективность обучения, прогнозировать результаты учебно-познавательной деятельности.

Поиск новых форм организации процесса обучения, обеспечивающих высокую надёжность обучения, эффективность усвоения элементов учебно-познавательной деятельности, развитие творческих способностей учащихся, привел к созданию множества педагогических технологий: контекстное обучение, адаптивное обучение, модульно-рейтинговые технологии обучения, дистанционное обучение и др.

Одним из перспективных направлений развития образовательных технологий в России является создание технологий, связанных с применением элементов теории педагогических измерений в системе образования, то есть технологий, одним из важных элементов которых является тестирование. Поступление в большинство вузов сегодня осуществляется на основе результатов Единого государственного экзамена, основная часть которого представлена тестовыми заданиями. Тестирование студентов играет всё возрастающую роль при оценке качества обучения период промежуточных и итоговых аттестаций. Оно является одним из

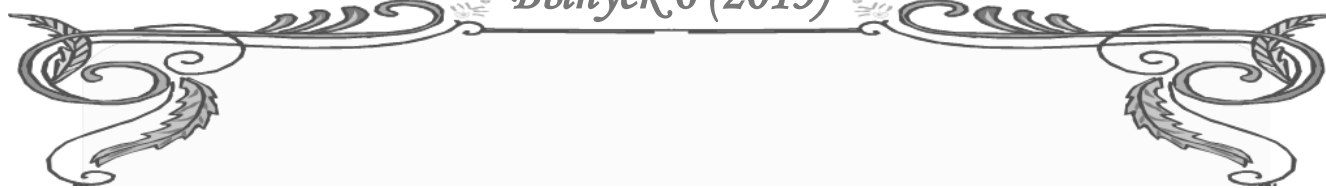


важнейших инструментов оценки качества знаний студентов в процессе аккредитации высшего учебного заведения.

Несмотря на обилие работ по педагогическому тестированию, на настоящий момент остаются не до конца решенными вопросы влияния тестирования на процесс усвоения знаний и формирование умений. Большинство работ, как российских, так и зарубежных авторов, рассматривают тест только как средство измерения, выделяя его контролирующую и диагностическую функции. Обучающей же функции тестирования не уделяется достаточного внимания, чаще всего она фигурирует в качестве сопутствующей при организации диагностики и контроля. Для студентов многих направлений подготовки дисциплина – математика является непрофильной дисциплиной, и, как следствие небольшой объём часов на изучение математики требует уплотнения учебного времени. Один из способов сжатия задачной системы состоит в выборе для неё оптимальной знаковой модели, в качестве которой можно рассматривать тестовую форму заданий. В условиях дефицита времени, отводимого на изучение математики как неосновной дисциплины, тестирование, выступающее в роли метода обучения, приобретает большое значение, что обусловлено его характеристиками: экономичностью (по времени), технологичностью, гибкостью и возможностью индивидуализации обучения.

Проведенный анализ исследований в области использования тестов как средства обучения позволяет сделать вывод о том, что особенности применения технологий тестирования для организации учебно-познавательной деятельности студентов вузов в процессе обучения математике изучены недостаточно. Между тем, для выпускников высших учебных заведений важно иметь твёрдые базовые знания по математике, обеспечивающие эффективное использование современных методов моделирования и анализа процессов и явлений, связанных с их профессиональной деятельностью. Кроме того, в силу объективных причин, происходит снижение уровня математической подготовки абитуриентов, поступающих в вузы города. И перед преподавателем встает проблема: за относительно короткое время обеспечить качественную математическую подготовку таких студентов, развить определяемые государственными стандартами (ФГОС) компетенции. Одной из важнейших предпосылок успешности изучения математики студентами вузов является формирование положительной мотивации, где ведущим мотивом выступает профессиональный. Отсюда следует актуальность разработки технологии, позволяющей повысить эффективность усвоения нового материала, обеспечить оперативную обратную связь, индивидуализировать процесс обучения, усилить мотивацию учения студентов за счет соответствующей организации учебного процесса.

Широкий спектр функций тестирования дает основание говорить о построении педагогических технологий, основанных на перманентном использовании тестов в процессе обучения математике, - тестовых технологий обучения, которые хорошо интегрируются с модульно-рейтинговыми технологиями. Для реализации интеграции модульной технологии и тестирования выбирается тип модульной программы, характеризующийся практической направленностью. Определяется место тестов внутри учебного модуля как объединённых средств обучения и контроля, понимая под модулем единицу цельной и логически структурированной программы по высшей математике, включающие в себя логически и дидактически завершённые самостоятельные разделы лекционного и практического курсов по высшей математике, контрольные блоки, методическое обеспечение.



В технологии непрерывного тестирования тестовые процедуры, интегрирующие в себе две стороны дидактического процесса: обучение и контроль, сопровождают учебный процесс на всех его стадиях, начиная с момента пропедевтики изучения темы и заканчивая рубежным тематическим тестированием. Регулярное использование тестов не только в контрольных точках, а в каждой точке прохождения учебного курса, на каждом аудиторном занятии делает возможным оценить не только конечные результаты обучения, но и диагностировать уровень знаний в любой момент обучения, что можно рассматривать как оценку учебной деятельности студентов. В технологии непрерывного тестирования при обучении математике студентов вузов тесты выступают в качестве средств обучения математике, соединяющих в себе одновременно обучающую и контролирующую компоненты учебного процесса.

Использование технологии непрерывного тестирования при обучении математике гарантирует регулярное поступление информации об учебных достижениях студентов. Эффективная обработка полученной информации дает возможность получить достоверную картину протекания учебного процесса. Тестирование хорошо согласуется с рейтинговой системой, поэтому в качестве измерительной шкалы для обработки информации можно использовать рейтинговую шкалу, обладающую гибкостью, непрерывной кумулятивностью баллов, возможностью управления процессом обучения, унификации результатов. Таким образом, применение технологии непрерывного тестирования, включающей в себя комплексное использование тестов при обучении математике, может явиться одним из способов повышения качества математической подготовки студентов вузов, являющейся основой математической компетентности будущих специалистов.

Библиографический список

- 1. Аванесов В. С.** Методологические и теоретические основы тестового педагогического контроля / дисс. доктора пед. наук, 13.00.01, Аванесов В.С., /- СПб, 1994, 334с.
- 2. Гулюкина Н. А.** Разработка и внедрение тестовых технологий в практику/ Н. А. Гулюкина, С. В. Клишина, Проблемы высшего технического образования: межвуз. сб. науч. трудов.- Новосибирск: НГТУ, 2000, 86 с.
- 3. Крашенинникова Г. Г.** Организация тестирования на практических занятиях по математике./ Соц.-экономическое развитие Крайнего Северо-Востока России: сб. науч. тр. Вып. II-Магадан: Изд-во «Кордис», 2009, с. 76-86.