

ВЛИЯНИЕ АТОМОВ Nd НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТОГО МОНОКРИСТАЛЛА GeS

Введение

Слоистые полупроводниковые кристаллы, в том числе GeS, отличаются сильной анизотропией физических свойств. Она существенно сказывается на электрических, фотоэлектрических и оптических свойствах. Эти кристаллы используются для записи оптической информации в электрических переключателях и запоминающих устройствах. Устройство из сульфида германия отлично подходит для изготовления солнечных панелей [1 – 5].

Поведение примесей редкоземельных элементов (РЗЭ) в полупроводниковых соединениях характеризуется некоторыми отличительными особенностями [6], например сочетанием малой растворимости и способностями РЗЭ производить «очистку» материала.

В настоящей работе излагаются результаты исследования температурной зависимости электропроводности, холловской подвижности и вольт-амперная характеристика легированного атомами неодима монокристаллов GeS.

Методика эксперимента

Для синтеза кристаллов $\text{Ge}_{1-x}\text{Nd}_x\text{S}$ в качестве исходных материалов использовались особо чистый германий с удельным сопротивлением 50 Ом.см , сера марки «В5» и неодим марки «Нм-2». Синтез проводился в откачанных до $0,0133 \text{ Па}$ кварцевых ампулах с диаметром 12 мм и длиной 140 мм .

Во избежание взрыва ампулы кристаллы германия измельчили и превратили в порошок. Процесс синтеза осуществили в два этапа: первоначально ампулы с исходными элементами нагрели со скоростью 3 град/мин до 450°C и выдержали 8 ч . Температуру повышали до 1000°C со скоростью 2 град/мин и выдерживали $10 - 12 \text{ ч}$ в зависимости от количества неодима в составе. По окончании синтеза ампула постепенно охлаждалась до комнатной температуры.

Монокристаллы $\text{Ge}_{1-x}\text{Nd}_x\text{S}$ ($0 \leq x \leq 0.01$) выращивались методом Бриджмена – Стокбаргера. Температура верхней зоны резистивного нагрева составляла на 50° выше, а нижней зоны на 50° меньше температуры плавления кристаллов. Скорость движения ампулы в двухзонной печи составляла 2 мм/ч . Выращенные монокристаллы имели форму пластинок размерами $5 \times 10 \times 0.2 \text{ мм}$. Омические контакты были созданы на естественных гранях [001] кристалла нанесением акводатом.

Подвижности носителей тока определили по холловскому току по методике, описанной в работе [7].

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) кристаллов $\text{Ge}_{1-x}\text{Nd}_x\text{S}$ исследовалась в статическом режиме при комнатной температуре.

При измерении ВАХ на монокристалл подавалось напряжение в пределах $0-400 \text{ В}$ от источника марки УИП-1.

Экспериментальные результаты

Исследовались температурные зависимости электропроводности кристаллов $\text{Ge}_{1-x}\text{Nd}_x\text{S}$ в температурном интервале $200-1100 \text{ К}$. Результаты исследования приведены на рис.1.

Как следует из рис.1, в температурной области $200-500 \text{ К}$ проводимость экспоненциально возрастает с ростом температуры. Это связано с возрастанием концентрации носителей заряда, так как подвижность зависит от температуры сравнительно слабо, что практически не сказывается на ход изменения проводимости.

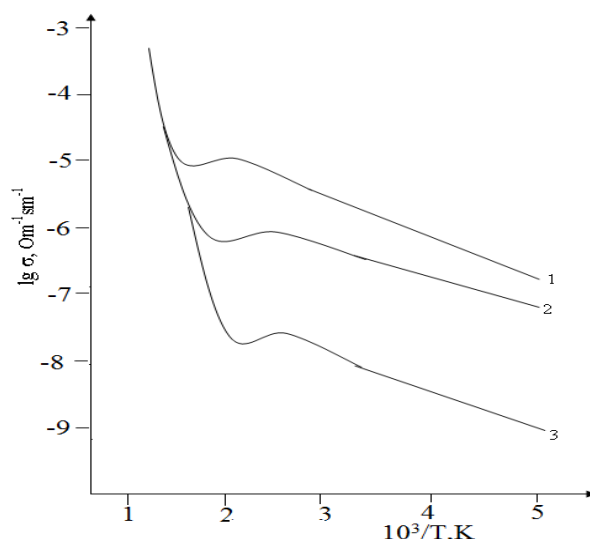


Рис. 1. Температурная зависимость проводимости монокристаллов $\text{Ge}_{1-x}\text{Nd}_x\text{S}$; 1-GeS; 2- $\text{Ge}_{0.995}\text{Nd}_{0.005}\text{S}$; 3- $\text{Ge}_{0.99}\text{Nd}_{0.01}\text{S}$

При дальнейшем возрастании температуры происходит истощение примесей, концентрация остается постоянной и зависимость электропроводности от температуры определяется зависимостью подвижности от температуры и соответственно электропроводность уменьшается.

Анализ полученных результатов по исследованию электропроводности кристаллов $\text{Ge}_{1-x}\text{Nd}_x\text{S}$ показывает, что эти кристаллы являются типичными примесными полупроводниками. Как следует из рис. 1, в GeS в температурном интервале 200-400K электропроводность увеличивается с ростом температуры, за счет увеличения числа носителей из примесных уровней в зону проводимости. С добавлением примесей из атомов неодима изменение электропроводности в $\text{Ge}_{0.995}\text{Nd}_{0.005}\text{S}$ происходит аналогичным образом, т.е. при низких температурах происходит относительно слабое увеличение электропроводности, в высокотемпературной части области истощения обнаруживается уменьшение электропроводности с ростом температуры, что напоминает поведение сопротивления в металлах (рис. 1). Здесь число носителей тока остается постоянным, а подвижность ограничивается в основном решеточным рассеянием, следовательно, подвижность и электропроводность уменьшается.

С увеличением температуры начнется проявление теплового возбуждения носителей через запрещенную зону. Так как число термически возбужденных носителей возрастает с температурой примерно экспоненциально, то переходная область примесной и собственной проводимости оказывается чрезвычайно узкой. Собственные носители быстро становятся доминирующими и проводимость экспоненциально увеличивается с ростом температуры. Как следует из рис. 1, с увеличением содержания примесей температура, соответствующая началу собственной проводимости, смещается в сторону более низких температур. Ширина запрещенной зоны кристалла GeS, определенная по высокотемпературному наклону зависимости $\lg \sigma(1/T)$, оказалась равной $1,57\text{эВ}$, а энергия активации примесей – $0,68\text{эВ}$.

Температурная зависимость холловской подвижности носителей кристаллов приведена на рис. 2. Как следует из рис. 2, подвижность кристалла GeS в температурном интервале 80 – 250 K увеличивается, а в узком температурном интервале остается постоянной и в дальнейшем уменьшается.

Для образца $\text{Ge}_{0.995}\text{Nd}_{0.005}\text{S}$ до температуры 270 K происходит увеличение, а в узком температурном интервале – уменьшение холловской подвижности. С увеличением содержания неодима до 0,01% при температурном интервале 80 – 200K подвижность увеличивается, а до 350K остается постоянной.

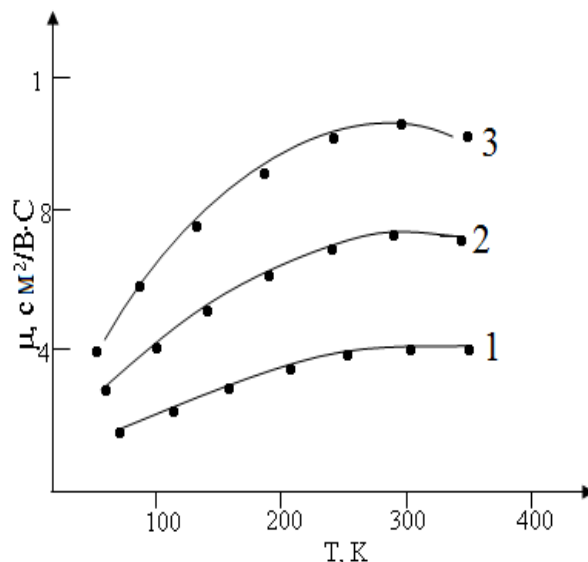


Рис.2. Температурная зависимость подвижности
монокристаллов-1-GeS, 2-Ge_{0.995}Nd_{0.005}S; 3-Ge_{0.99}Nd_{0.01}S

Такая температурная зависимость подвижности совместно с малой величиной позволяет заключить, что в монокристаллах Ge_{1-x}Nd_xS (0 ≤ x ≤ 0.01) движение носителей имеет скачкообразный характер.

Носители заряда находятся преимущественно в связанных состояниях и периодически переходят из одного положения в другое.

Авторами исследованы статические ВАХ монокристаллов Ge_{1-x}Nd_xS (0 ≤ x ≤ 0.01) при 300K. Монокристаллы имели вид плоско-параллельных пластин размером до 8x10x0,2 мм. При исследовании ВАХ монокристаллов Ge_{1-x}Nd_xS контактами служили Ag.

Результаты исследования приведены на рис. 3. Как следует из рис. 3, при низких значениях напряжения зависимость силы тока от напряжения оказывается линейной, а контакт омическим. Однако с увеличением напряжения до определенного значения образцы скачкообразно переходят из высокоомного состояния в низкоомное.

Для всех исследованных кристаллов наблюдались симметричные ВАХ с резко выраженным участком отрицательного дифференциального сопротивления (рис. 3). Это показывает, что исследованные кристаллы обладают переключающими свойствами с памятью.

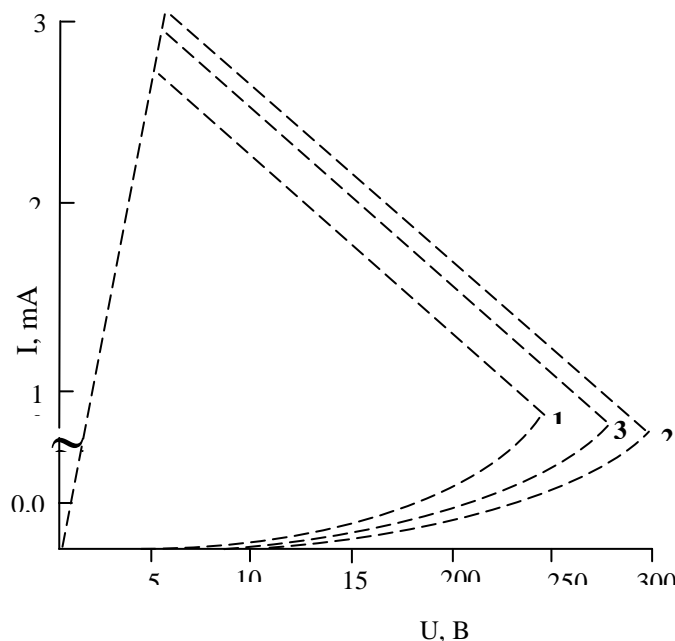


Рис. 3. ВАХ монокристаллов. 1-GeS, 2-Ge_{0.995}Nd_{0.005}S;
3-Ge_{0.99}Nd_{0.01}S, при T=300K

С увеличением содержания Nd в составе пороговое значение напряжения, при котором происходит переключение, увеличивается. Аналогичные результаты были получены и в работах [8 – 10].

Для объяснения эффекта переключения существуют два механизма – электронный и тепловой. Обычно эффект переключения на тонких пленках объясняется преимущественно электронным механизмом, а на планарных образцах – тепловым механизмом. Исследованные материалы – монокристаллы $\text{Ge}_{1-x}\text{Nd}_x\text{S}$ ($0 \leq x \leq 0.01$), и для объяснения эффекта переключения предполагаем, что переключения в исследованных материалах происходят следующим образом. При подаче напряжения происходит нагрев материала в шнуре проводимости, что приводит к разрушению его частично упорядоченной микрокристаллической структуры и переходу в аморфное состояние. При снятии напряжения и быстром охлаждении материал не успевает вновь кристаллизироваться и прибор переключается из состояния с высокой в состоянии с низкой проводимостью. При медленном охлаждении материал может кристаллизироваться вновь.

Таким образом, в зависимости от конструкции прибора и условий переключения можно на одном и том же материале получать ВАХ как «с памятью», так и «без памяти».

Выводы

Исследованиями температурной зависимости электропроводности и вольт-амперной характеристики кристаллов $\text{Ge}_{1-x}\text{Nd}_x\text{S}$ ($0 \leq x \leq 0.01$) определены ширина их запрещенной зоны и энергия активации примесей, выявлено что эти кристаллы обладают переключающими свойствами с памятью.

Список литературы: 1. Блецкан, Д.И., Будянский, В.И., Городецкий, И.Я., Федоров, А.И., Шейнкман, М.К. Исследование локальных центров в слоистом соединении GeS // Физика и техника полупроводников. – 1975. – Т. 9, № 8. – С. 1512 – 1516. 2. Чабан, И.А. Эффект переключения в халькогенидных стеклах // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, № 3. – С. 405 – 410. 3. Джахангирли, З.А. Самосогласованный расчет глубоких уровней вакансий Ge и S в GeS методом функций Грина // Физика твердого тела. – 2010. – Т. 52, № 3. – С. 436-438. 4. Алексеева, Г.Т., Ведерников, М.В., Гуриева, Е.А., Константинов, П.П., Прокофьева, Л.В., Равич, Ю.И. Донорное действие редкоземельных металлов в RbTe. // Физика и техника полупроводников. – 1998. – Т. 32, №7. – С. 806 – 810. 5. Грушка, О.Г., Горлей, П.М., Бесценный, А.В., Грушка, З.М. Влияние легирования гадолинием на физические свойства полупроводниковых соединений // Физика и техника полупроводников. – 2000. – Т. 34, № 10. – С.1197 – 1200. 6. Игнатченко, О.А., Бабушкин, А.Н., Мельникова, Н.В. Электропроводность и термо ЭДС сульфида и селенида германия при давлениях 20-50 ГПа // Физика твердого тела. – 1993. – Т. 35, №7. – С. 1983 – 1987. 7. Абдинов, А.Ш., Бабаева, Р.Ф., Амирова, С.И., Рзаев Р.М. Влияние температуры и легирования редкоземельными элементами на подвижность носителей заряда в кристаллах моноселенида индия // Физика и техника полупроводников. – 2013. – Т. 47, № 8. – С. 1009 – 1013. 8. Блецкан, Д.И., Таран, В.И., Сичка, М.Ю. Эффект переключения в слоистых кристаллах A^4B^6 // Украинский физический журнал. – 1976. – Т. 21, №9. – С. 1436 – 1440. 9. Годжаев, Э.М., Зарбалиев, М.М. Эффект переключения в сплавах системы $\text{TlInTe}_2 - \text{TlLnTe}_2$ // Известия Академии Наук СССР. Неорганические материалы. – 1979. – Т.15, №9. – С. 3. 10. Годжаев, Э.М., Гюльмамедов, К.Д., Халилова, Х.С., Гулиева, С.О. Эффект переключения на тонких пленках TlInSe_2 // Электронная обработка материалов. – 2011. – № 47(5). – С. 5.

*Азербайджанский государственный
педагогический университет, Баку*

Поступила в редколлегию 23.08.2014