

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ЛЕГИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ КРИСТАЛЛАХ МОНОСЕЛЕНИДОВ A_3B_6 СО СЛОИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

А.Ш.АБДИНОВ, Р.Ф.БАБАЕВА, А.Т.БАГИРОВА, Р.М.РЗАЕВ

Бакинский Государственный Университет

AZ-1148, Баку, ул. З.Халилова, 23

Nadir torpaq elementləri ilə müxtəlif səviyyədə (10^{-5} - 10^{-1} at.%) aşqarlanmış laylı A_3B_6 kristallarında çevirijilik effektləri ilə elektrolüminessensiya müqayisəli tədqiq edilmiş, həmin hadisələrin əsas xüsusiyyətləri müəyyənləşdirilmiş və mexanizmləri aydınlaşdırılmışdır.

Проведены сравнительные исследования эффектов переключения и электролюминесценции в легированных редкоземельными элементами (10^{-5} - 10^{-1} ат.%) слоистых кристаллах A_3B_6 . Установлены их основные особенности и выяснены механизмы в изучаемых кристаллах.

In this paper passed comparative recherches of switching and electroluminescence parameters at doping by rare elements (10^{-5} - 10^{-1} at%) in single crystals A_3B_6 . They affirmed their principal particularities and noticed the mechanisms in learning crystals.

Слоистые кристаллы соединений A_3B_6 , характерными представителями которых являются моноселениды индия (n-InSe) и галлия (p-GaSe) уже давно известны как полупроводники с разнообразными, порою необычными электрическими, фотоэлектрическими и люминесцентными свойствами. Впервые профессором Г.А.Ахундовым и его учениками в Институте Физики АН Азербайджана и Бакинском Государственном Университете еще в шестидесятых-семидесятых годах прошлого столетия в специально нелегированных кристаллах этих материалов были обнаружены и исследованы эффекты переключения, а также различные люминесцентные явления (фото-, катодо- и электролюминесценции). Хотя и изучение влияния примесей редкоземельных элементов (РЗЭ) на указанные свойства моноселенидов индия и галлия привлекло внимание покойного профессора, однако, короткая жизнь не позволила ему осуществить намеченное. После его учениками и другими исследователями проводились опыты по изучению влияния легирования редкоземельными элементами типа Yb, Eu, Nd на физические свойства этих кристаллов. Однако при этом, в основном, было уделено внимание на влияние указанных примесей на фотолюминесцентные свойства селенида галлия. Далее было установлено, что электрические и фотоэлектрические свойства монокристаллов p-GaSe и n-InSe значительным образом зависят от легирования этих полупроводников РЗЭ из группы лантана (гадолия, гольмия и диспрозия) с относительно малым (не более 10^{-5} - 10^{-1} ат.%) содержанием введенной примеси. При этом были получены довольно уникальные и по влиянию легирования РЗЭ на люминесценцию и электрические неустойчивости результаты [1-3]. В представленной работе нами исследовано влияние легирования РЗЭ на электрические и люминесцентные неустойчивости в моноселенидах галлия и индия при различных внешних условиях и процентных содержаниях введенной примеси.

Брались образцы с поперечными (ток протекает в направлении перпендикулярно естественным слоям - вдоль оси "С" кристалла) и продольными (ток протекает вдоль естественных слоев) контактами. Отдельные образцы вырезались из крупных слитков монокристаллов GaSe<РЗЭ> и InSe<РЗЭ>, полученных по описанной в [4]

методике. При этом, в качестве РЗЭ использовались гадолиний (Gd), гольмий (Ho) и диспрозий (Dy).

Токовые контакты были созданы путем припаивания металлического In, Sn, или же нанесением серебряной пасты и аквадака в открытом воздухе. Установлено, что в обоих материалах (в GaSe<РЗЭ> и InSe<РЗЭ>) хотя спектр свечения от контактов не зависит, однако, наблюдается значительное влияние контактов на величину яркости (B_λ) и значения порогового напряжения (U_n) электролюминесценции (значение внешнего электрического напряжения, при которой начинается свечение). С повышением инжектирующей способности контактов U_n уменьшается, а B_λ - увеличивается. Причем наилучшие результаты получаются в случае симметричных индиевых контактов (в структурах In/ A_3B_6 <РЗЭ>/In).

Измерения осуществлялись под действием постоянного или синусоидального электрического поля на экспериментальной установке, собранной на базе серийного комплекса типа КСВУ-12 при 77К (когда образец непосредственно погружен в жидкий азот).

Брались образцы с $N_{РЗЭ} \approx 0; 10^{-5}; 10^{-4}; 5 \cdot 10^{-4}; 10^{-3}; 5 \cdot 10^{-3}; 10^{-2}$ и 10^{-1} ат. %. Толщина (вдоль оси "С" кристалла) и длина (вдоль естественных слоев кристалла) их варьировались в пределах $\sim 0.200 \div 0.500$ мм и $\sim 4 \div 7$ мм соответственно.

В результате проведенных исследований установлено, что как в специально нелегированных, в легированных РЗЭ с различным процентным содержанием кристаллах n-InSe и p-GaSe, так и под действием внешнего электрического напряжения большего U_n , наблюдается электролюминесценция, спектр которой для p-GaSe<РЗЭ> и n-InSe<РЗЭ> охватывают область $0.580 \leq \lambda \leq 1.100$ мкм (с основным максимумом при $\lambda_m \approx 0.600$ мкм) и $0.900 \leq \lambda \leq 1.150$ мкм (с основным максимумом при $\lambda_m \approx 0.965$ мкм) соответственно. В кристаллах p-GaSe<РЗЭ> кроме ярковыраженного основного максимума (при $\lambda_m \approx 0.600$ мкм) наблюдаются несколько ($\sim 0.590; 0.615, 0.655$ и 0.812 мкм), а в n-InSe<РЗЭ> лишь одна (~ 1.000 мкм) дополнительная линия излучения со значительно слабой яркостью (рис. 1, кривые 1, 1' и 2, 2' соответственно). С ростом уровня возбуждения (тока через образец) дополнительная линия в n-InSe<РЗЭ> и линия с

$\lambda \approx 0.812$ мкм в p-GaSe<P3Э> смещаются в коротковолновую сторону спектра - почти до $\lambda \approx 0.984$ мкм и $\lambda \approx 0.755$ мкм в селениде индия и галлия соответственно (рис. 1, кривые 1' и 2' соответственно).

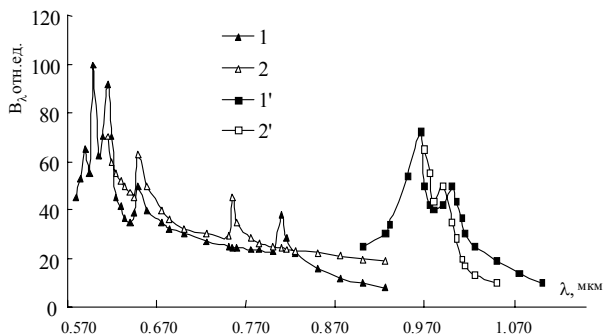


Рис.1. Спектры электролюминесценции в p-GaSe<P3Э> (кривые 1 и 1') и n-InSe<P3Э> (кривые 2 и 2') при различных значениях тока. $N_{P3Э} \approx 10^{-2}$ ат.%; $T=77$ К; I , мА: 1 - 4; 2 - 7; 1' - 20; 2' - 18.

Для обоих видов приложенного электрического поля с ростом U яркость электролюминесценции увеличивается по степенному закону ($B \sim U^n$).

При этом в одном и том же образце при одинаковых внешних условиях показатель степени (n) почти совпадает с показателем степени ВАХ темнового тока (рис. 2). В различных образцах в зависимости от значения приложенного напряжения, а также от величины исходного темнового удельного сопротивления и уровня легирования значение n - меняется в пределах 2÷5. При всех рассмотренных нами случаях зависимость B_λ от силы возбуждающего электролюминесценцию тока имеет линейный характер. В случае постоянного электрического напряжения при $U=U_n$ свечение начинается у соответствующей инжекции неосновных носителей тока контакта (у отрицательного в p-GaSe<P3Э> и у положительного в n-InSe<P3Э>) и расширяется в сторону противоположного контакта с ростом внешнего напряжения (или же тока через образец). В случае синусоидального электрического напряжения свечение при $U=U_n$ начинается у обоих контактах и с дальнейшим ростом приложенного напряжения распространяются к середине образца. Лишь в образцах с расстоянием между контактами $\ell \leq 3-4$ мм в пределах допустимых значений внешнего напряжения при определенных U свечение охватывает весь (межконтактный) объем образца.

В изучаемых нами образцах электролюминесценция наблюдается в предпробойной области ВАХ (при напряжениях $U_n \leq U \leq U_{пер}$, где $U_{пер}$ - напряжение переключения изучаемого образца от высокоомного состояния в низкоомное), т.е. до осуществления эффекта переключения [5]. При $U \approx U_{пер}$ образец переходит в низкоомное состояние - происходит эффект бистабильного (рис. 2, а, кривые 1 и 1' для p-GaSe<P3Э> и n-InSe<P3Э> соответственно), или же порогового (рис. 2, б, кривые 1 и 1' для p-GaSe<P3Э> и n-InSe<P3Э> соответственно) переключения в образцах с поперечными (рис. 1, б) и продольными (рис. 2, б)

контактами соответственно. При этом происходит и переключение по яркости электролюминесценции - яркость падает до нуля (рис.2. а и 2, б, кривые 2 и 2').

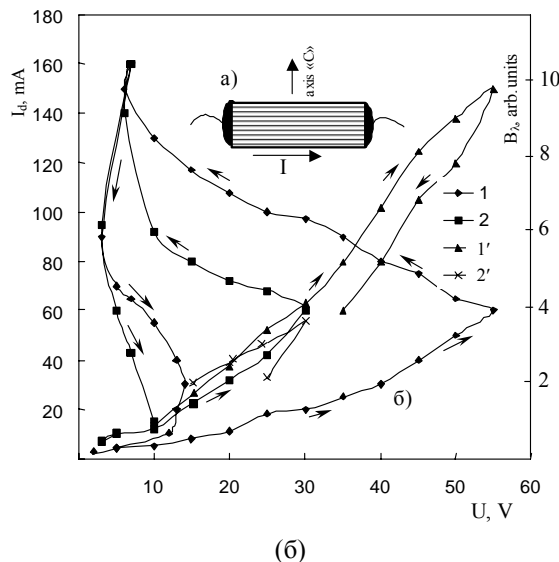
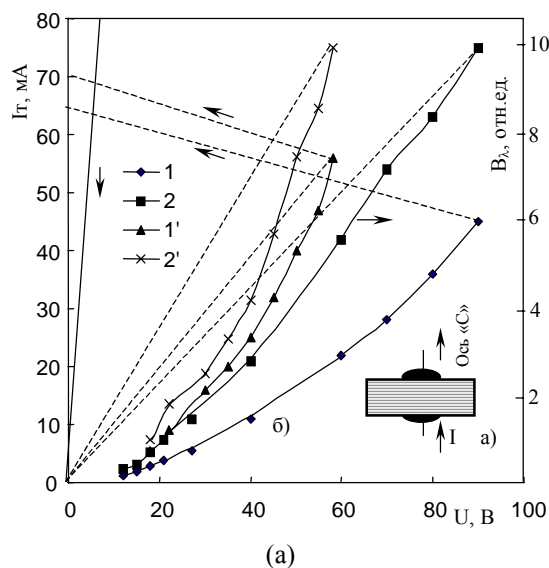


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика темнового тока (кривые 1 и 2) и вольт-яркостная характеристика электролюминесценции (кривые 3 и 4) в p-GaSe<P3Э> (кривые 1 и 3) и n-InSe<P3Э> (кривые 2 и 4) при бистабильном (а) и пороговом (б) переключениях. $N_{P3Э} \approx 10^{-2}$ ат.%; $T=77$ К.

В случае бистабильного переключения при $U \approx U_{пер}$ с мгновенным переходом образца в низкоомное состояние, мгновенно падает и яркость электролюминесцентного излучения до нуля (рис. 1, а, кривые 2 и 2' для p-GaSe<P3Э> и n-InSe<P3Э> соответственно), а в случае порогового переключения (рис.2, а, кривые 2 и 2' для p-GaSe<P3Э> и n-InSe<P3Э> соответственно) после достижения $U_{пер}$ (в области отрицательного дифференциального сопротивления) сначала яркость электролюминесцентного излучения плавно уменьшается почти до $B_\lambda' \approx (0.3 \div 0.4) B_{лп}$, где $B_{лп}$ - значение яркости электролю-

минесценции при $U \approx U_{\text{пер}}$, а далее не дожидаясь полного совершения акта переключения (полного перехода образца в низкоомное состояние) резко падает до нуля - свечение гаснет (рис. 2, б, кривые 2 и 2').

Проведенные нами исследования также показывают, что в случае порогового переключения в области отрицательного дифференциального сопротивления обнаруживается и некоторое изменение на спектральном распределении электролюминесценции. В частности, при этом сначала (при плавном уменьшении яркости свечения от $V_{\lambda_{\text{п}}}$ до V_{λ}) в кристаллах р-GaSe<P3Э> дополнительные максимумы с $\lambda > 0.600 \mu\text{м}$ постепенно исчезают. Одновременно уменьшается амплитуда максимумов $\lambda \leq 0.600 \mu\text{м}$. Аналогичная ситуация наблюдается и в кристаллах n-InSe<P3Э>.

С ростом уровня легирования сначала (при $N_{\text{P3Э}} \leq 10^{-4}$ ат.%) $U_{\text{п}}$ и $U_{\text{пер}}$ несколько ($\sim 10 \div 15\%$) увеличиваются от-

носительно исходного (имеющегося место в специально легированных кристаллах), а затем уменьшаются. При $N_{\text{P3Э}} \approx 10^{-1}$ ат.% во всех изучаемых образцах ситуация оказалась близкой к случаю медленного переключения, имеющего место в специально легированных низкоомных кристаллах.

С ростом уровня легирования значительно увеличивается как степень стабильности параметров и характеристик обоих типов переключений, так и яркость свечения.

Полученные результаты позволяют сказать, что в изучаемых кристаллах обнаруженные электрические неустойчивости не связаны с регенераторными эффектами. Оба они обусловлены тепловым эффектом, а также коллективным опустошением г-центров рекомбинации и мелких уровней α -прилипания, несущих непосредственную ответственность в электролюминесценции и эффекта переключения соответственно.

-
- [1]. *А.Ш.Абдинов, Р.Ф.Бабаева* К вопросу о механизме влияния легирования редкоземельными элементами на фотолюминесценцию монокристаллов соединений A_3B_6 со слоистой структурой. // Прикладная физика. 2004. В. 5. С. 74-78.
- [2]. *А.Ш.Абдинов, Р.Ф.Бабаева, А.Т.Багирова, Р.М.Рзаев* Влияние легирования редкоземельными элементами на некоторые электрические свойства монокристаллов селенида индия. // Ж. «Неорганические материалы». 2006. Т. 42. №9. С. 1035-1039.
- [3]. *A.S.Abdinov, R.F.Babaeva, A.T.Bagirova, R.M.Rzaev* Electroluminescence of layered monocrystals of $A_3B_6<RE>$. // Fizika, 2006, Т. XII, № 3, с. 8-10.
- [4]. *А.М.Гусейнов, Т.И.Садыгов* Получение легированных редкоземельными элементами монокристаллов селенида индия. // В сб. "Электрофизические свойства полупроводников и плазмы газового разряда". Баку. Изд. Азгосуниверситета. 1984. с.42-44.
- [5]. *Г.А.Ахундов, А.Ш.Абдинов, Н.М.Мехтиев, А.Г.Кязым-заде* Об эффекте переключения в р-GaSe. // ФТП. 1973. Т.7. В. 9. С. 1830-1833.

Daxil olunub: 01.07.2007