

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УТОМЛЯЕМОСТИ КРИСТАЛЛОВ СЕЛЕНИДА ГАЛЛИЯ

Р.Ф.БАБАЕВА

*Бакинский Государственный Университет,
Аз 1148, г. Баку, ул. З.Халилова, 23*

Исследована кинетика темнового тока в чистых и легированных лантаноидами (Gd, Ho, Dy) с $10^{-5} \leq N \leq 10^{-1}$ ат. % кристаллах p-GaSe. Установлено, что при низких температурах и малых напряжениях происходит «переходная» релаксация темнового тока различного характера, а при длительном воздействии внешнего напряжения, больше некоторого граничного значения – электрическая утомляемость. Предложена модель, качественно объясняющая полученные результаты.

ВВЕДЕНИЕ

Высокоомные монокристаллы селенида галлия (p-GaSe) обладают различными специфическими электрическими свойствами [1-4]. В ранних работах [5-7] сообщалось также о влиянии примесей лантаноидов на их некоторые электрические свойства.

В данной работе приводятся результаты, полученные при исследовании эффекта электрической утомляемости в чистых (нелегированных специально) и легированных различными лантаноидами (Ld), в частности, атомами гадолия (Gd), гольмия (Ho), диспрозия (Dy) монокристаллах p-GaSe.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследуемые монокристаллы выращивались методом медленного охлаждения при постоянном градиенте температуры вдоль слитка [8, 9]. Бралась образцы p-GaSe<Gd>, p-GaSe<Ho>, p-GaSe<Dy>. Содержание введенной примеси (N) составляло 10^{-5} ; 10^{-4} ; 10^{-3} ; 10^{-2} ; 10^{-1} ат. %. Для обеспечения возможности сравнения брались также чистые кристаллы p-GaSe. Измерения проводились в температурной области 77÷350К.

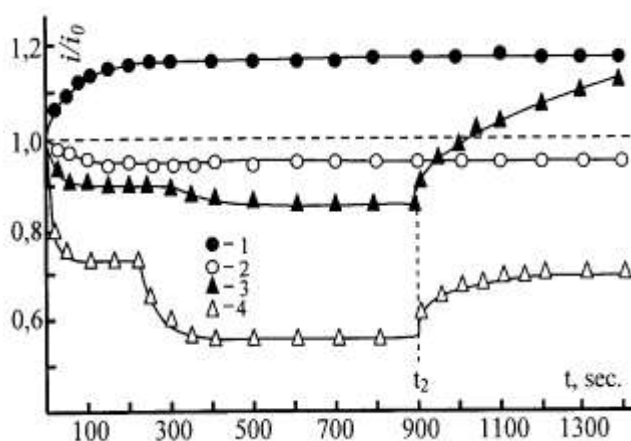
РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

В ходе измерений оказалось, что в изучаемых кристаллах p-GaSe и p-GaSe<Ld> при температурах ниже 150К при включении приложенного к образцу внешнего напряжения стационарное значение темнового тока устанавливается медленно. Причем скорость и ход релаксации помимо величины приложенного напряжения (U) и температуры (T) зависят также от значения исходного темнового удельного сопротивления (ρ_{TO}) и уровня легирования (N) кристалла.

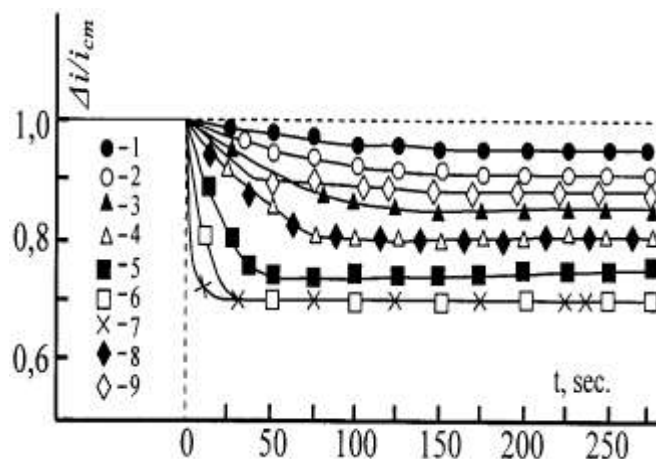
Рост температуры ускоряет процесс релаксации. В образцах с большим ρ_{TO} процесс оказывается более медленным. От значения ρ_{TO} зависит также величина $|\Delta i| = |i_{CT} - i_0|$, где i_{CT} и i_0 стационарное и исходное значения темнового тока, соответственно. В чистых кристаллах при малых и более высоких напряжениях наблюдается спадающая, а при средних значениях U - преобладает возрастающая релаксация темнового тока. Знак и абсолютная величина Δi , а также скорость установления i_{CT} зависят и от N. Однако влияния химической природы введенной примеси на это явление не наблюдается.

В ходе измерений также установлено, что после установления i_{CT} при длительном воздействии небольшого внешнего напряжения, эта величина не

меняется (Рис.1, кривые 1 и 2). Однако при длительном воздействии внешнего напряжения, большего некоторого граничного ($U_{гр}$) значения, в исследуемых кристаллах р-GaSe и р-GaSe<Ld> при $T \leq 250 \div 300\text{K}$ (для образцов с различной N) значение темнового тока медленно падает от i_{CT} до некоторого квазистационарного i'_{CT} (Рис.1, кривые 3 и 4). При этом скорость процесса спада и значение $\Delta i' = i_{CT} - i'_{CT}$ оказываются зависимыми от температуры (Рис.2, кривые 1 и 2), от величины приложенного к образцу напряжения (Рис.2, кривые 2-8) и уровня легирования лантаноидами (Рис.2, кривые 4 и 9). Изменение типа и полярности приложенного напряжения, а также химической природы введенной примеси (Рис.2, кривые 4 и 8) на указанный процесс не влияет. В обеих группах кристаллов при низких температурах квазистационарное состояние с низкой проводимостью (с i'_{CT}) имеет запоминающий характер - после выключения внешнего напряжения с $U \geq U_{гр}$ (Рис.1, кривые 3 и 4 при $t=t_2$) исходное значение проводимости образца восстанавливается значительно медленно. Однако его можно экстренно восстановить нагреванием или же освещением образца. При этом происходит термическое или же оптическое стирание квазистационарного состояния образца с низкой проводимостью, соответственно. Для термического стирания достаточно сначала нагреть образец до $T \geq 350\text{K}$, а потом резко охладить его путем погружения в жидкий азот.


Рис.1.

Кинетика темнового тока в кристаллах р-GaSe<Dy> при длительном воздействии внешнего напряжения различного значения. $U, В$: 1 - 25; 2 - 35; 3 - 45, 4 - 55. $T=77\text{K}$, $N_{Dy}=10^{-4}\text{ат.}\%$.


Рис.2.

Кинетика темнового тока в кристаллах р-GaSe<Dy> при различных напряжениях и уровнях легирования. $T, К$: 1 - 130; 2-9 - 77; $U, В$: 1, 2, 4, 8, 9 - 45; 3 - 60; 5, 6 - 75; 7 - 85. $N_{P30}, \text{ат.}\%$: 1, 2, 3, 5, 6, 7 - 0; 4, 8 - 10^{-4} ; 9 - 10^{-3} . Кривые 4, 9 - Dy; 8 - Ho.

Скорость релаксации темнового тока от i_{CT} до i'_{CT} с ростом N сначала (при $N \leq 10^{-4}\text{ат.}\%$) несколько уменьшается, а далее (при $N > 10^{-4}\text{ат.}\%$) - увеличивается (Рис.2, кривые 4 и 9). В то же время относительная величина спада тока, определяемая как $\frac{\Delta i'}{i_{CT}}$, меняется немонотонно, и зависимость ее от N проходит через максимум при $N \approx 10^{-4}\text{ ат.}\%$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Переходя к обсуждению полученных экспериментальных результатов, прежде всего следует отметить, что как и показано в работах [1-7], в запрещенной зоне р-GaSe существуют различного типа локальные уровни прилипания (мелкие

α - и глубокие β -) и рекомбинации (быстрые S- и медленные r-). Эти уровни пространственно разделены рекомбинационными барьерами, создающими в объеме образца также дрейфовые барьеры.

Предполагается, что при включении внешнего напряжения (U) в зависимости от его значения характер взаимодействия свободных носителей заряда с локальными уровнями отличается. При малых напряжениях преобладает захват носителей притягивающими центрами. Поэтому наблюдается спадающая релаксация темнового тока. При средних U хотя взаимодействие носителей с этими центрами значительно ослабляется, однако из-за постепенного стирания дрейфовых барьеров, вследствие повышения уровня инжекции, наблюдается возрастающая релаксация. При более больших значениях приложенного к образцу напряжения преобладает взаимодействие носителей с отталкивающими центрами. Поэтому заново преобладает спадающая релаксация, но другого происхождения.

В кристаллах p -GaSe<Ld> при $N \leq 10^{-4}$ ат. % вследствие увеличения амплитуды дрейфовых барьеров доминирует возрастающая релаксация. Далее (при $N > 10^{-4}$ ат. %) из-за постепенного спрямления флуктуации потенциала кристаллов и преобладания взаимодействия носителей с точечными центрами, притягивающими при относительно малых и (или) отталкивающими при больших напряжениях проявляется спадающая релаксация.

Хотя при длительном воздействии на полупроводник внешнего напряжения с $U \geq U_{гр}$ может иметь место спад темнового тока также вследствие захвата носителей точечными центрами, поляризацией или фазовыми превращениями, а также электрическим старением материала, однако инерционность, запоминающий характер, возможность экстренного стирания различными способами, независимость от направления и типа внешнего напряжения обнаруженного нами спада темнового тока от i_{cm} до i'_{cm} однозначно отвергает его связанность с этими механизмами. По всей вероятности, при этом ситуация обусловлена электрической утомляемостью изучаемых кристаллов и ее можно объяснить на основе двухбарьерной модели, предложенной в [10] для высокоомных кристаллов p -GaSe. В частности, когда на образец длительное время воздействует внешнее напряжение $U \geq U_{гр}$, вследствие ослабления флуктуации потенциала в кристалле уменьшается высота рекомбинационных барьеров. Поэтому облегчается преодоление свободных носителей через эти барьеры и попадание их в высокоомные включения кристалла. Здесь они захватываются уровнями β -прилипания, что, в свою очередь, вызывает рост концентрации неосновных носителей (электронов) на центрах быстрой рекомбинации и соответственно темпа рекомбинации основных носителей заряда. Поэтому проводимость образца постепенно спадает, и ток через него уменьшается от i_{cm} до i'_{cm} . После прекращения воздействия внешнего напряжения $U \geq U_{гр}$ или уменьшения его до значения $U < U_{гр}$ захваченные на β -уровнях носители освобождаются постепенно, и поэтому исходное (высокопроводящее) состояние образца восстанавливается значительно медленнее. Установлено, что при этом характерное время процесса восстановления исходного состояния образца само оказывается зависимым от времени и со временем увеличивается. Исходное значение проводимости восстанавливается лишь после освобождения всех захваченных на β -уровнях носителей – «полного отдыха» образца. В рамках этой модели экстренное возвращение образца в исходное высокопроводящее состояние путем нагрева или же освещения образца светом из области примесного поглощения с $h\nu_n \geq \varepsilon_\beta$ (здесь ε_β - энергетическая глубина залегания β -уровней) скорее всего происходит вследствие термического или же оптического

опустошений β -уровней, соответственно. Определенное из спектра оптического стирания квазистационарного состояния с низкой проводимостью значение энергетической глубины β -уровней составляет $\varepsilon_{\beta} = \varepsilon_v + 0.60 \text{ эВ}$. Полученное при этом значение ε_{β} хорошо согласуется с найденными из других измерений значениями [1].

В рамках предложенной модели влияние легирования РЗЭ на эффект электрической утомляемости в кристаллах p-GaSe может объясняться с соответствующей зависимостью степени пространственной неоднородности кристаллов от уровня легирования [2].

1. А.Ш.Абдинов, А.Г.Кязым-заде, А.А.Ахмедов, *Физика и техника полупроводников*, **12** (1976) 2299.
2. А.Ш.Абдинов, Я.Г.Акперов, В.К.Мамедов, Э.Ю.Салаев, *Физика и техника полупроводников*, **1** (1981) 113.
3. G.A.Akhundov, A.Sh.Abdinov, N.M.Mekhtiev, *Phys.Stat.Sol. (a)*, **15** (1973) k33.
4. А.Ш.Абдинов, В.К.Мамедов, Э.Ю.Салаев, *Физика и техника полупроводников*, **4** (1980) 754.
5. А.Ш.Абдинов, Р.Ф.Бабаева, Р.М.Рзаев, А.Т.Багирова, Ш.А.Аллахвердиев, *Доклады НАН Азербайджана*, **LXII** 5-6 (2006) 55.
6. А.Ш.Абдинов, Р.Ф.Бабаева, Р.М.Рзаев, А.Т.Багирова, Ш.А.Аллахвердиев, *Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXVI** №5 (2006) 70.
7. А.Ш.Абдинов, Ш.А.Аллахвердиев, Р.Ф.Бабаева, Р.М.Рзаев, *Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXVIII** №5 (2006) 125.
8. Р.Ф.Мехтиев, Г.Б.Абдуллаев, Г.А.Ахундов, *Доклады АН Аз.ССР*, **18** №6 (1962) 11.
9. А.М.Гусейнов, Т.И.Садыхов, В сб. «Электрофизические свойства полупроводников и плазмы газового разряда», Баку, АГУ (1989) 42.
10. А.Ш.Абдинов, А.М.Гусейнов, Л.Н.Мулина, Ю.Г.Нуруллаев, М.М.Сеидов, *Доклады АН Аз.ССР*, **XLV** №4 (1989) 11.

GALLIUM SELEN MONOKRİSTALLARINDA ELEKTRİK YORULMA HAQQINDA

R.F.BABAYEVA

Təmiz və $10^{-5} \leq N \leq 10^{-1} \text{ at.}\%$ miqdarında lantanoidlərlə (Gd, Ho, Dy) aşqarlanmış p-GaSe kristallarında qaranlıq cərəyanın kinetikasi tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, aşağı temperatur və kiçik gərginliklərdə qaranlıq cərəyanın müxtəlif xarakterli "keçid" relaksasiyası, xarici gərginliyin müəyyən sərhəd qiymətindən böyük qiymətlərində uzunmüddətli təsiri zamanı isə - elektrik yorulma baş verir. Alınmış təcrübi nəticələri keyfiyyətə izah edən model verilmişdir.

ABOUT THE ELECTRIC FATIGUE OF CRYSTALS GALLIUM SELENIDE

R.F.BABAIEVA

The kinetics of dark current has been investigated in pure and alloyed by lanthanides crystals p-GaSe (Gd, Ho, Dy) with $10^{-5} \leq N \leq 10^{-1} \text{ at.}\%$. It has been established that at low temperatures and small pressure there has been a "transitive" relaxation of dark current of various characters, and at long influence of the external pressure, more than some boundary value - electric fatigue. The model qualitatively explaining received results has been offered

Редактор: Р.Сардарлы