

Особенности спектров нелинейного поглощения света в нестехиометрических и легированных Ni монокристаллах GaSe

© А. Байдуллаева, З.К. Власенко, Б.К. Даулетмуратов, Л.Ф. Кузан, П.Е. Мозоль

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева Национальной академии наук Украины, 03028 Киев, Украина

(Получена 16 июня 2005 г. Принята к печати 13 июля 2005 г.)

Измерены спектры нелинейного поглощения света методом двух источников излучения в монокристаллах GaSe, GaSe:Ni, Ga_{1.05}Se_{0.95} и Ga_{0.95}Se_{1.05}. Обнаружены уровни с глубиной залегания 1.38, 1.45, 1.55, 1.65 и 1.80 эВ. В спектрах нелинейного поглощения света наблюдаются поглощение на неравновесных носителях тока, индуцированное поглощение и индуцированное просветление, обусловленное изменением заселенности примесных центров излучением лазера.

PACS: 78.66.Li, 78.40.Fy

Монокристаллы селенида галлия, как и весь класс слоистых кристаллов, характеризуются сильно выраженной структурной анизотропией. Основным и наиболее интересным свойством их структуры, определяющим большую анизотропию физических свойств, является чередование пакетов атомных плоскостей (слоев), связанных между собой слабыми силами типа Ван-дер-Ваальса, в то время как силы связи внутри слоев имеют ионно-ковалентный характер.

Вариация параметров GaSe с использованием относительно простых технологий, таких как термическое напыление, окисление, дают возможность создавать поверхностно-барьерные диоды [1,2], *p-n*-гомои гетеропереходы с широким спектром параметров и характеристик для целей опто-, фото- и квантовой электроники [3–5].

Измерение спектров нелинейного поглощения света позволяет определять энергии уровней и концентрацию ($\sim 10^{-13} \text{ см}^{-1}$) глубоких примесных или дефектных центров [6], которые зачастую выступают центрами безызлучательной рекомбинации в широкозонных полупроводниках.

В настоящей работе исследованы спектры нелинейного поглощения света в монокристаллах GaSe методом двух источников излучения. В нем используется один высокоинтенсивный пучок лазерного излучения с фиксированной энергией кванта излучения $\hbar\omega_1$ и второй — зондирующий, менее интенсивный, с широким спектром излучения, из которого с помощью спектральной аппаратуры выделяется узкий монохроматический пучок с переменной энергией кванта $\hbar\omega_2$ [7,8].

Измерены спектры нелинейного поглощения света при $2\hbar\omega_1 > E_g$ (E_g — ширина запрещенной зоны кристаллов GaSe) специально не легированных кристаллов, легированных Ni в различной концентрации, а также выращенных с отклонением от стехиометрии. Измерения технологии выращивания кристаллов проводились с целью воздействия на энергетический спектр собственных и примесных структурных дефектов и создания благоприятных условий для доминирования того или

иного механизма нелинейного поглощения света, конкурирующих между собой [9].

Экспериментальные зависимости коэффициента нелинейного поглощения света (K) кристаллов GaSe с избытком атомов галлия от энергии кванта зондирующего излучения $\hbar\omega_2$ при интенсивной лазерной подсветке с энергией кванта $\hbar\omega_1 = 1.17 \text{ эВ}$ приведены на рис. 1. Ход спектральной зависимости, релаксационные характеристики указывают на поглощение света на неравновесных свободных носителях (ПНСН) как преобладающий механизм нелинейного поглощения света [9]. В спектрах нелинейного поглощения таких кристаллов наблюдается ряд особенностей. В длинноволновой части спектра, $\hbar\omega_2 < 1.90 \text{ эВ}$, наблюдаются хорошо разрешенные пики с энергетическими положениями 1.38, 1.45, 1.55, 1.65 и 1.80 эВ, интенсивность которых значительно уменьшается при возрастании интенсивности лазерного

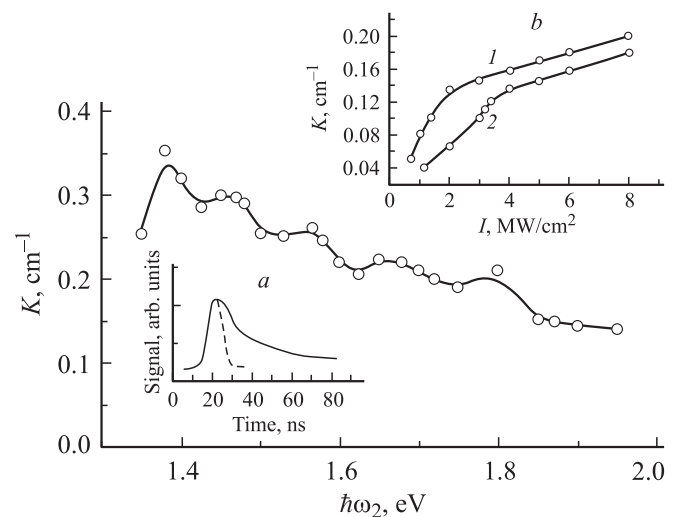


Рис. 1. Спектры индуцированного поглощения кристаллов Ga_{1.05}Se_{0.95}. $\hbar\omega_1 = 1.17 \text{ эВ}$. На вставках: *a* — кинетика сигнала индуцированного поглощения (сплошная линия) и импульс излучения лазера (штриховая); *b* — зависимость коэффициента индуцированного поглощения от интенсивности излучения лазера I при $\hbar\omega_2 = 1.6$ (1) и 1.8 эВ (2).

излучения. Анализ интенсивностных зависимостей и кинетики сигналов в полосах поглощения указывает на двухступенчатое поглощение (ДСП) через реальные энергетические уровни, расположенные в запрещенной зоне полупроводника, существование которых подтверждается исследованиями примесной фотопроводимости. Полосы с энергетическим положением 1.65 и 1.80 эВ обусловлены ДСП через энергетические уровни, образованные примесью Ni.

На рис. 2 приведены спектры индуцированного поглощения (ИП) и индуцированного просветления (ИПР) при $\hbar\omega_1 = 1.17$ эВ специально не легированного GaSe (а) и легированного Ni в концентрации по массе 0.11% (б). При изменении энергии кванта лазерного излучения с $\hbar\omega_1 = 1.17$ эВ на 1.78 эВ происходит изменение спектрального распределения K кристаллов GaSe:Ni (0.01%) (рис. 3) и значительное возрастание (на 2 порядка) коэффициента нелинейного поглощения. В области спектра $\hbar\omega_2 < 1.55$ эВ доминирует механизм ПНСН. При $\hbar\omega_2 > 1.55$ эВ происходит инверсия и доминирующим становится процесс ИПР. Примесь Ni создает два уровня с энергиями $E_1 = 1.65$ эВ

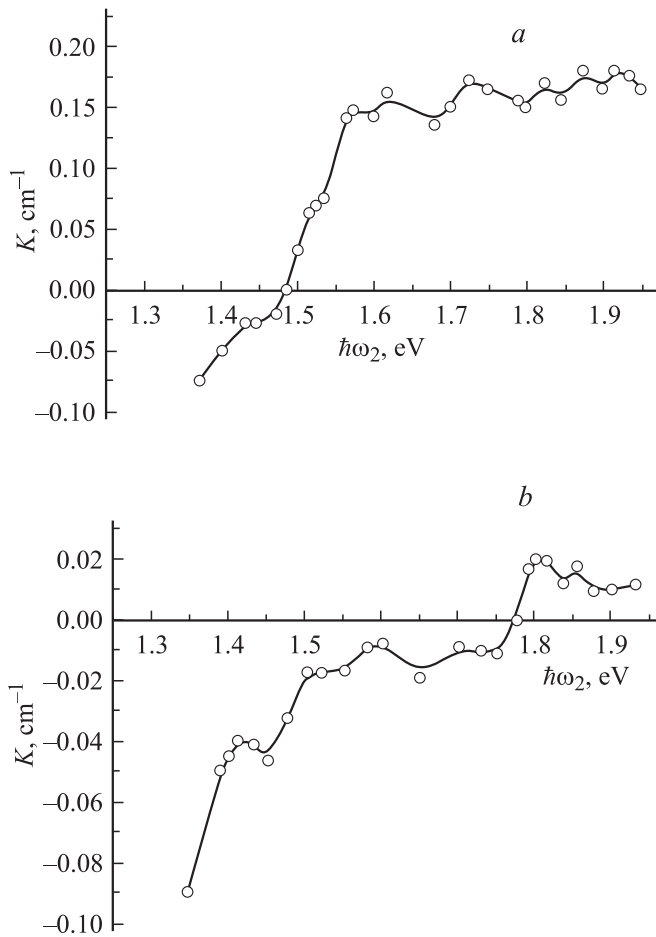


Рис. 2. Спектры индуцированного поглощения и индуцированного просветления специально не легированного GaSe (а) и легированного Ni с концентрацией по массе 0.11% (б). $\hbar\omega_1 = 1.17$ эВ.

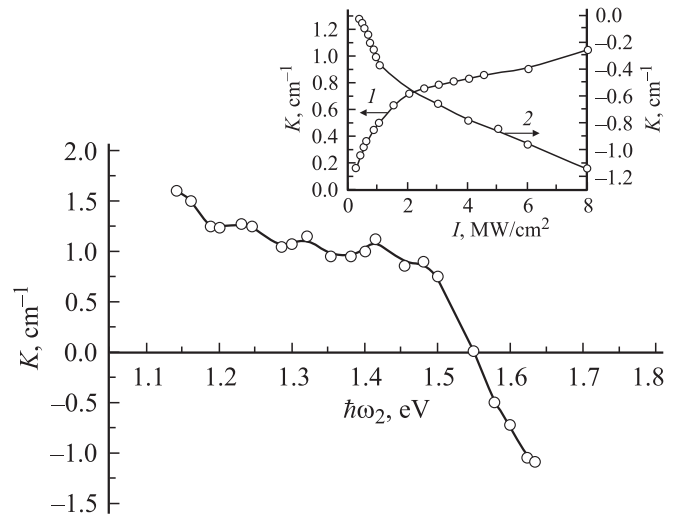


Рис. 3. Спектры индуцированного поглощения и индуцированного просветления GaSe:Ni (0.01%). $\hbar\omega_1 = 1.78$ эВ. На вставке — зависимости коэффициента ИП (1) и коэффициента ИПР (2) от интенсивности лазерного излучения.

и $E_2 = 1.80$ эВ, которые проявляются в спектрах однофотонного поглощения света. Энергия кванта излучения рубинового лазера близка к состоянию резонанса с уровнями Ni. Нелинейное поглощение света в GaSe при условии $\hbar\omega_2 > E_g/2$ определяется процессом ПНСН, кроме того, возможен процесс косвенной лазерной модуляции, представляющий собой возбуждение в зону проводимости квантами зондирующего света неравновесных носителей, захваченных на глубокие примесные уровни. Изменяя дополнительную подсветкой заселенность этих уровней, можно изменять знак K , получая ИП или ИПР. При $\hbar\omega_1 = 1.78$ эВ роль такой подсветки играет излучение рубинового лазера, энергия квантов излучения которого близка к энергии залегания уровней Ni. В результате однофотонного поглощения уровни $E_1 = 1.65$ эВ и $E_2 = 1.80$ эВ заполнены электронами и не могут участвовать в поглощении квантов зондирующего света соответствующих частот, следствием чего является процесс просветления.

Исследования спектров нелинейного поглощения света кристаллов GaSe, выращенных при отклонении от стехиометрии, подтверждают предположения о том, что избыточные атомы Ga, размещаясь в вакансиях, уменьшают концентрацию собственных структурных дефектов. Для кристаллов $\text{Ga}_{1.05}\text{Se}_{0.95}$, так же как и для кристаллов GaSe:Ni (0.01%), доминирующим механизмом нелинейного поглощения является ПНСН при $\hbar\omega_1 = 1.17$ эВ (рис. 1), в то время как для кристаллов специально не легированного GaSe и GaSe:Ni (0.11%) преобладающим механизмом является ИПР (рис. 2 и 3). Последнее указывает на значительную концентрацию собственных структурных дефектов, образующих реальные энергетические уровни в запрещенной зоне.

Список литературы

- [1] З.Д. Ковалюк, В.П. Махний, А.И. Янчук. Технология и конструирование в электронной аппаратуре, **1**, 62 (2003).
- [2] З.Д. Ковалюк, В.П. Махний, А.И. Янчук. Тез. докл. 3-й Межд. научно-практической конф. „Современные информационные и электронные технологии“ (Одесса, 2002) с. 255.
- [3] З.Д. Ковалюк, В.П. Махний, А.И. Янчук. Вестник Львовского университета. Серия физическая (2001), вып. 34, с. 217.
- [4] З.Д. Ковалюк, В.П. Махний, А.И. Янчук. Научный вестник Черновицкого университета. Физика. Электроника (2000) вып. 92, с. 65.
- [5] В.Ф. Антюшин, А.В. Буданов, Е.А. Татохин, Я.А. Болдырева. Письма ЖТФ, **28** (7), 68 (2002).
- [6] А. Байдуллаева, П.Е. Мозоль, И.И. Пацкун и др. А. с. № 990026 (1982), заявка № 3282215 (1981).
- [7] В.В. Борщ, М.П. Лисица, П.Е. Мозоль и др. УФЖ, **22** (11), 1914 (1977).
- [8] П.Е. Мозоль, И.И. Пацкун, Е.А. Сальков, Н.С. Корец, И.В. Факешгази. ФТП, **14** (5), 902 (1980).
- [9] А. Байдуллаева, З.К. Власенко, Б.К. Даулетмуратов, Л.Ф. Кузан, П.Е. Мозоль. ФТП, **39** (4), 405 (2005).

Редактор Л.В. Шаронова

The peculiarities of nonlinear light absorption spectra in nonstoichiometric and Ni doped GaSe crystals

*A. Baidullaeva, Z.K. Vlasenko, B.K. Dauletmuratov,
L.F. Cuzan, P.E. Mozol*

Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics,
National Academy of Sciences of Ukraine,
03028 Kiev, Ukraine

Abstract Spectra of nonlinear light absorption in GaSe, GaSe:Ni, Ga_{1.05}Se_{0.95} and Ga_{0.95}Se_{1.05} single crystals were measured by two radiation sources method. Levels with energies 1.38, 1.45, 1.55, 1.65, and 1.80 eV were observed. Absorption by nonequilibrium current carriers, induced absorption and induced enlightenment due to variations of impurity centers occupancy under laser radiation were observed in the spectra of nonlinear absorption.