



Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005"
International Conference "Fizika-2005"
Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9
iyun
June 2005
Июнь

səhifə
page 674-675
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

**ФОТОПРОВОДИМОСТЬ $\text{Cu}_3\text{Ga}_5\text{Se}_9$ ПРИ ВЫСОКИХ УРОВНЯХ
ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ**

ГУСЕЙНОВ А.Г., ДЖАХАНГИРОВА С.А., МАМЕДОВ Р.М., ОРУДЖОВА В.И.

*Бакинский Государственный Университет, ул. З.Халилова 23, Баку, Азербайджан
AZ 1143 e-mail: rovshan63.@rambler.ru.*

Исследованы люкс-амперные характеристики монокристалла $\text{Cu}_3\text{Ga}_5\text{Se}_9$ при высоких уровнях оптического возбуждения. Установлено, что механизм рекомбинации неравновесных носителей тока в стационарном режиме характеризуется в основном акцепторным уровнем с глубиной залегания 1.1 эВ, а усиление фоточувствительности при высоком уровне оптического возбуждения обусловлено заполнением рекомбинирующих уровней и увеличением времени жизни носителей тока.

Сложные полупроводниковые соединения на основе элементов I- III - VI групп является самыми перспективными материалами для изготовления высокоэффективных преобразователей солнечной энергии. Среди них соединение $\text{Cu}_3\text{Ga}_5\text{Se}_9$ привлекает интерес в качестве материала для создания приемников концентрированного излучения. При взаимодействии концентрированного излучения с веществом, обычно за счет теплового эффекта, снижается фоточувствительность приемника излучения. Однако, фоточувствительность фоторезистора на основе $\text{Cu}_3\text{Ga}_5\text{Se}_9$ увеличивается с возрастанием температуры кристалла в интервале 250 ÷ 400 К, что представляет большой практический интерес.

Предварительное исследование [1] фотоэлектрических свойств монокристаллов $\text{Cu}_3\text{Ga}_5\text{Se}_9$ при возбуждении обычным светом лампы накаливания, показало, что в спектре фотопроводимости наблюдается максимум при 1.62 эВ, который соответствует глубине залегания компенсирующего акцепторного уровня в n - типа кристаллах. Люкс-амперная характеристика фотопроводимости при возбуждении монохроматическим светом с энергией кванта $h\nu = 1.62$ эВ подчиняется линейному закону, что свидетельствует о мономолекулярном механизме рекомбинации ($\Delta n < n_0$). При этом число дырок на рекомбинационных центрах практически остается постоянной, вследствие чего время жизни электронов - τ_n не зависит от интенсивности света.

Фотопроводимость указанных кристаллов при высоких уровнях возбуждения была изучена при возбуждении переходов зона-зона и примесь-зона. Для возбуждения переходов зона-зона было использовано излучение рубинового лазера ($h\nu = 1.79$ эВ), работающего в режиме свободной генерации ($\Delta t \approx 10^{-3}$ с). Поскольку время релаксации импульса, найденная из кинетики спада фотопроводимости составляет $\sim 10^{-4}$ с, можно предположить, что за время действия импульса света устанавливается стационарное значение фотопроводимости. При этом ЛАХ фотопроводимости определяется лишь механизмами рекомбинации неравновесных носителей тока. Как видно из рисунка 1(а), где представлена ЛАХ фотопроводимости при двух значениях приложенного напряжения при относительно низких интенсивностях, наблюдается линейная зависимость $\Delta\sigma \sim I$, которая с дальнейшим ростом интенсивности переходит в сублинейную зависимость $\Delta\sigma \sim I^{0.5}$. Причем с ростом приложенного напряжения точка перегиба в ЛАХ смещается в сторону меньших интенсивностей. Исходная концентрация дырок на центрах рекомбинации P_r^0 , определенная по методу [2], составляет $\approx 6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Переходы типа примесь-зона возбуждались с использованием излучения неодимового лазера ($h\nu = 1.17$ эВ), работающего в режиме свободной энергии. Поскольку при этом выполняется условие $2h\nu > \Delta E_g$, то в принципе возможны как переходы

примесь-зона, так и ступенчатые переходы зона-зона с участием примесных центров. На рис.1(б) представлены ЛАХ одного образца при возбуждении излучением неодимового лазера при двух значениях приложенного напряжения. Как видно из рисунка, за начальной линейной областью ЛАХ, в широком диапазоне интенсивностей, наблюдается степенная зависимость в виде $\Delta\sigma \sim I^k$, где $k=1.3 \div 1.7$ в различных образцах, при достаточно высоких уровнях возбуждения ЛАХ выходит на квазинасыщение.

Наблюдаемая зависимость является не стандартной и может быть объяснена следующим образом. Учитывая, что в запрещенной зоне исследованных кристаллов имеются глубокие рекомбинационные уровни с концентрацией N_r (1.1 эВ) и со степенью заполнения дырками $\eta = p_r^0/N_r$, то под действием света при этом возможны переходы 1 и 2 типа (см. рис. 1(б)). При низких интенсивностях света $\Delta p < p_r^0$ и можно принять, что степень заполнения уровней вследствие переходов 2 не меняется. При этом фотопроводимость определяется переходами типа 1 и ЛАХ имеет линейный характер, т.к. $\tau = 1/\gamma \cdot p_r^0 \approx \text{const}$.

Однако, при относительно высоких интенсивностях когда $\Delta p \approx p_r$ степень заполнения уровней η растет с ростом интенсивности света. Поскольку вероятность переходов типа 4 зависит как от концентрации электронов на этих уровнях, так и от концентрации неравновесных дырок Δp в валентной зоне, то рекомбинация электронов на уровнях носит квадратичный характер. При этом $n_r = (N_r - p_r) \sim I^{0.5}$; $p_r \sim I^{0.5}$ и $\tau_n \cong 1/\gamma \cdot p_r \sim I^{0.5}$

Вследствие этого ЛАХ фотопроводимости имеет вид $\Delta\sigma \sim I^{1.5}$, что согласуется с экспериментальными результатами. Поскольку количество рекомбинационных центров конечное, то при высоких уровнях оптического возбуждения все уровни возбуждаются ($\eta = 1$) и в ЛАХ наблюдается квазинасыщение.

Следует отметить, что рассмотренный случай в некотором смысле аналогичен двухфотонному возбуждению. Однако, при этом роль виртуальных уровней играют реальные уровни, вследствие чего вероятность перехода увеличивается.

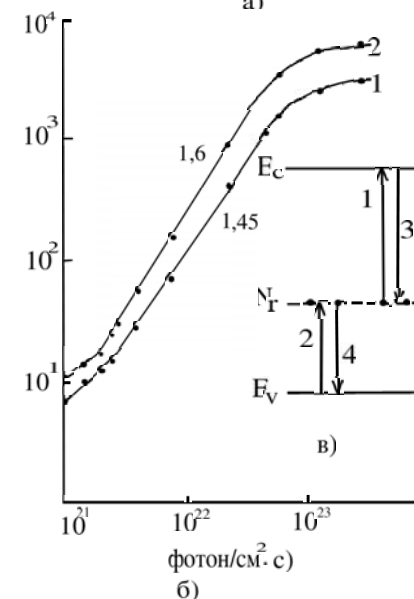
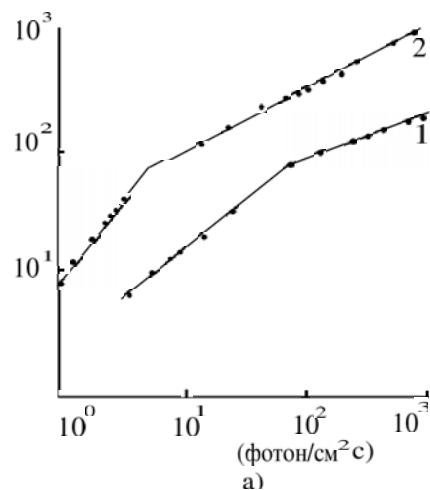


Рис.1. Люкс-амперная характеристика фототока в монокристалле $\text{Cu}_3\text{Ga}_5\text{Se}_9$.

а) при низком уровне возбуждения.

б) при возбуждении излучением неодимового лазера.

в) схема энергетических переходов.

В результате увеличивается время жизни неравновесных носителей с возрастанием уровня возбуждения и этим объясняется увеличения фоточувствительности кристалла при поглощении концентрированного излучения.

[1]. Гусейнов А.Г., Тагиров В.И., Деббаш Джамель, Рагимов Р.Ш., Фотоэлектрические и оптические свойства $\text{Cu}_3\text{Ga}_5\text{Se}_9$ и $\text{Ag}_3\text{In}_5\text{Te}_9$. В кн. «Кинетические и оптические явления в средах». БГУ, Баку, 1980, с. 15-16.

[2]. Лашкарев В.Е., Любченко А.В., Шейнкман М.К. Неравновесные процессы в фотопроводниках. – Киев: Наук. Думка, 1981.