

УДЛ 621.315.592

Релаксация темнового тока в монокристаллах MnGa_2Se_4

© О.В. Тагиев^{†*}, С.Г. Асадуллаева[†], И.Б. Бахтиярлы[‡], К.О. Тагиев[‡]

[†] Институт физики Национальной академии наук Азербайджана, Az-1143 Баку, Азербайджан

^{*} Филиал Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова в г. Баку, Az-1143 Баку, Азербайджан

[‡] Институт химии Национальной академии наук Азербайджана, Az-1143 Баку, Азербайджан

(Получена 16 апреля 2012 г. Принята к печати 21 мая 2012 г.)

Представлены результаты исследования изотермических токов, накопления заряда в сэндвич-структурах $\text{In-MnGa}_2\text{Se}_4\text{-In}$. Полученные данные проанализированы на основе теории изотермических токов и эстафетного механизма переноса заряда. Показано, что релаксация темнового тока в монокристаллах MnGa_2Se_4 связана с накоплением заряда на глубоких уровнях за счет инжекции из катода. Определены следующие параметры: емкость контакта $C_k = 2 \cdot 10^{-13}$ Ф, толщина слоя сосредоточения заряда $d_k = 4 \cdot 10^{-6}$ см, дрейфовая подвижность носителей тока $\mu_3 = 3 \cdot 10^{-8}$ см²/В·с в монокристаллах MnGa_2Se_4 .

Среди тройных алмазоподобных соединений особое место занимают полумагнитные полупроводники типа $A^{\text{II}}B_2^{\text{III}}C_4^{\text{VI}}$ (A — Mn, Fe, Co, Ni; B — Ga, In; C — S, Se, Te). Эти соединения привлекают внимание исследователей в связи с возможностью их использования в функциональной электронике для создания приборов, управляемых магнитным полем. Одно из этих соединений, MnGa_2Se_4 , кристаллизуется в пространственной группе S_4^2 . С учетом перспективности использования MnGa_2Se_4 в функциональной твердотельной электронике актуальным является всестороннее исследование его электрических, люминесцентных, оптических свойств.

Результаты измерений изотермических токов в монокристаллах MnGa_2Se_4 объяснены на основе теорий диэлектрической релаксации [1,2] и эстафетного механизма в изоляторах и высокоомных полупроводниках [3,4].

В данной работе для определения параметров ловушечных уровней используются результаты исследования релаксации темнового тока.

Монокристаллы MnGa_2Se_4 были получены методом химических транспортных реакций. Эти кристаллы являются полупроводниками с удельным сопротивлением 10^{10} Ом·см при комнатной температуре. При приложении постоянного напряжения к структуре $\text{In-MnGa}_2\text{Se}_4\text{-In}$ ток I во внешней цепи сначала резко возрастает, а затем спадает со временем t , и по истечении некоторого времени устанавливается стационарное значение.

Кривые релаксации тока I для образцов структуры $\text{In-MnGa}_2\text{Se}_4\text{-In}$ с толщиной активной области 100 мкм представлены на рис. 1. Сразу после включения напряжения наблюдается рост тока, а затем его спад. При включении внешнего электрического поля и замыкании цепи в ней проходит ток деполяризации, направлении которого противоположно направлению тока, соответствующего электрическому полю. Из рис. 1 видно, что при высоких температурах отношение значений тока,

соответствующих неравновесному и равновесному состояниям, уменьшается и при этом уменьшается время спада тока к стационарному значению.

Наблюдаемый в структурах $\text{In-MnGa}_2\text{Se}_4\text{-In}$ спад тока сопровождается накоплением заряда. Измерения, проведенные на большом количестве образцов с различными толщиной и площадью контактов, показали, что образующийся заряд пропорционален площади кон-

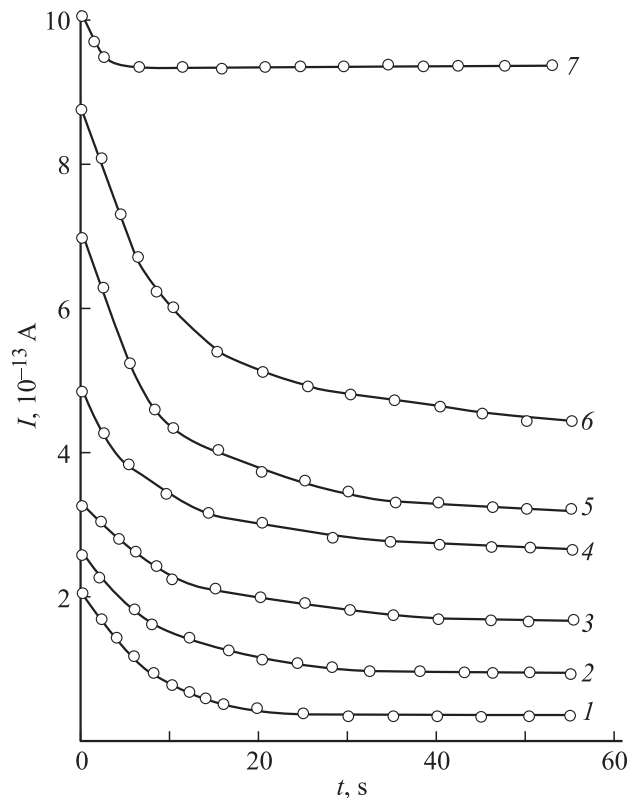


Рис. 1. Релаксация темнового тока в системе $\text{In-MnGa}_2\text{Se}_4\text{-In}$ при $U = 400$ В и температурах T, K : 1 — 219, 2 — 240, 3 — 262, 4 — 270, 5 — 280, 6 — 309, 7 — 352.

[†] E-mail: oktay58@mail.ru

тактов и не зависит от толщины образца. Эта закономерность говорит о том, что заряд накапливается в приконтактной области, а не в объеме.

Полученные экспериментальные результаты объяснены на основе эстафетного механизма переноса инжектированного в кристалл заряда [3,4], когда основной ток протекает не за счет электронов, переносимых через зону проводимости, а за счет электронов, захваченных на центры, имеющие локальные уровни в запрещенной зоне. В результате ток в системе ограничен не только пространственным зарядом в объеме диэлектрика, но и барьером на электроде.

Согласно теории [3], если принять во внимание переход структуры $\text{In-MnGa}_2\text{Se}_4\text{-In}$ из нестационарного состояния в стационарное и построить зависимость произведения тока на время It , т.е. заряда Q от $\lg t$, то на этой зависимости получается максимум с соответствующим временем t_{\max} (рис. 2). Из релаксации темнового тока можно определить глубину залегания ловушек [5,6]. Самым чувствительным способом определения энергии уровней ловушек является графическое построение зависимостей в виде $It = f(\lg t)$. Такая характеристика имеет максимум, который проявляется при $t = t_{\max}$ и связан с глубиной залегания E_t уравнением

$$E_t = kT \ln \nu t_{\max}, \quad (1)$$

где k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура, ν — частотный фактор ($\nu \sim 10^{13} \text{ c}^{-1}$). Отсюда

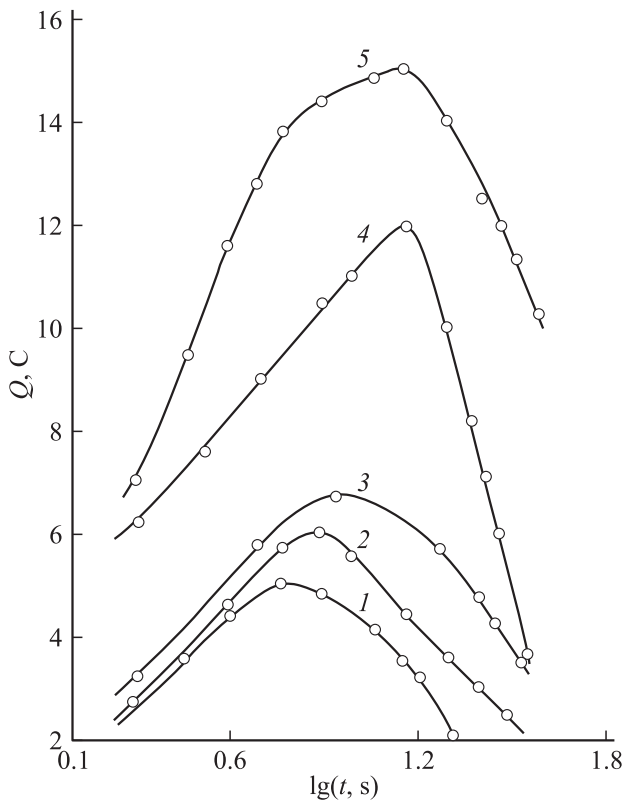


Рис. 2. Зависимости накопленного заряда (Q) от времени ($\lg t$) в MnGa_2Se_4 при $U = 400 \text{ В}$, $T, \text{ К}$: 1 — 219, 2 — 240, 3 — 262, 4 — 270, 5 — 280, 6 — 309.

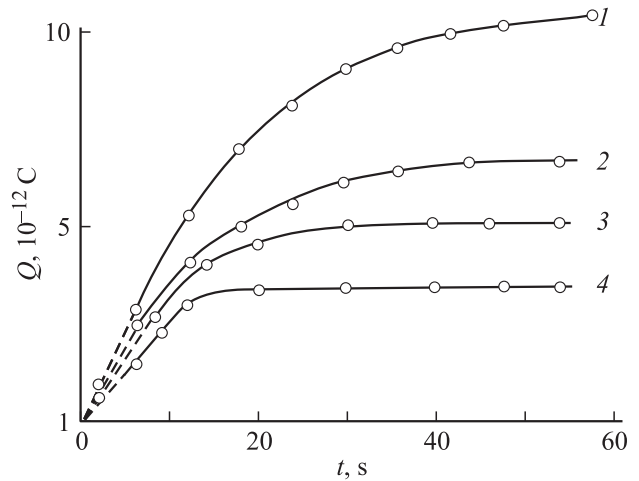


Рис. 3. Зависимости величины накопленного заряда от времени в MnGa_2Se_4 при $U = 200 \text{ В}$, $T, \text{ К}$: 1 — 239, 2 — 230, 3 — 225, 4 — 221.

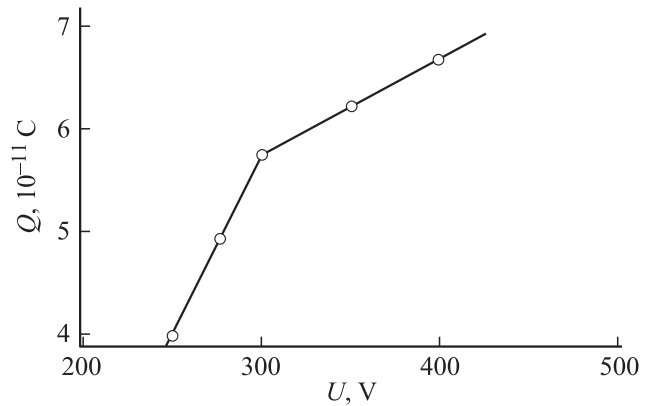


Рис. 4. Зависимость накопленного заряда от приложенного напряжения в монокристаллах MnGa_2Se_4 .

найдена энергия активации ловушек в монокристаллах MnGa_2Se_4 : $E_t = 0.9\text{--}1.1 \text{ эВ}$.

Заряд, накапливающийся вблизи электрода, описывается выражением [3]

$$Q = UC_k \frac{t}{\tau + t}, \quad (2)$$

где t — время, $\tau = L^3 / \mu d_k U$ — постоянная зарядки контакта, L — толщина образца, d_k — толщина слоя сосредоточения заряда у анода, U — приложенное напряжение, $C_k = \epsilon \epsilon_0 S / d_k$ — электрическая емкость контакта, ϵ — диэлектрическая проницаемость полупроводника, ϵ_0 — электрическая постоянная, S — площадь контакта, μ — подвижность заряда, переносимого через запрещенную зону.

Как следует из (2), при $t \ll \tau$ и с учетом выражения для τ получаем $Q = (\mu_3 \epsilon S U^2 / d_k^3) t$, т.е. заряд линейно увеличивается со временем и пропорционален квадрату напряжения, а при $t \gg \tau$ насыщается и стремится к величине UC_k . Эти выводы теории [3] хорошо под-

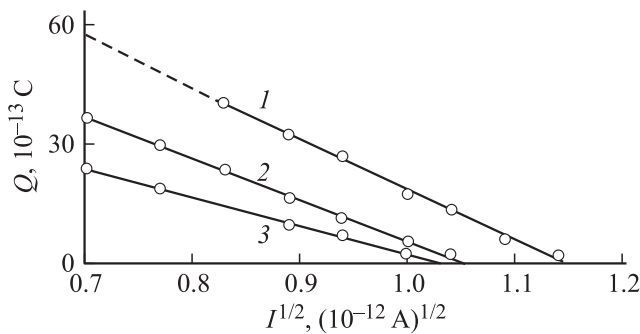


Рис. 5. Зависимости величины заряда (Q), накопленного в монокристаллах MnGa_2Se_4 от $I^{1/2}$ при $T = 239$ (1), 230 (2), 225 К (3).

тверждаются результатами, полученными для сэндвич-структур $\text{In-MnGa}_2\text{Se}_4\text{-In}$ (рис. 3). Видно, что чем ниже температура, тем раньше зависимость $Q(t)$ насыщается. С ростом температуры накопленный заряд увеличивается. При малых временах зависимость $Q(t)$ носит примерно линейный характер. С ростом температуры от 221 до 239 К в области насыщения заряд изменяется в интервале $(4-12) \cdot 10^{-12}$ Кл.

Если исходить из выражения для C_k , можно заключить, что зависимость $Q(t)$ от температуры в области насыщения $Q(t)$ связана с изменением контактной емкости. Контактная емкость при данном приложенном напряжении и известной площади контакта может изменяться за счет изменения толщины d_k слоя сосредоточения заряда.

В соответствии с выражением для Q в случае $t \ll \tau$ построена зависимость $Q(U)$, которая представлена на рис. 4. Видно, что между зарядом и напряжением существует линейная зависимость. Эта зависимость состоит из двух линейных участков. Наклоны этих участков равны 2 и 1.5.

В [3] также получено выражение, связывающее заряд Q и общий ток I , протекающий через систему металл-диэлектрик-металл:

$$Q = UC_k - \sqrt{\frac{C_k LI}{d_k \mu_3}}. \quad (3)$$

На рис. 5 при различных температурах представлена зависимость накопленного в структуре $\text{In-MnGa}_2\text{Se}_4\text{-In}$ заряда Q от квадратного корня общего тока. Рис. 5 показывает, что с ростом \sqrt{I} тока заряд Q линейно уменьшается, причем наклон зависимости $Q = f(\sqrt{I})$ растет. Эти изменения хорошо согласуются с формулой (3). Экстраполяцией прямых $Q = f(\sqrt{I})$ до пересечения с осью заряда и осью тока найдены величины $Q_0 = 50 \cdot 10^{-13}$ Кл и $I_0 = 1.15 \cdot 10^{-12}$ А. На основании этих данных оценены емкость контакта $C_k = 2 \cdot 10^{-13}$ Ф, толщина слоя сосредоточения заряда $d_k = 4 \cdot 10^{-6}$ см, эффективная подвижность носителей тока $\mu_3 = 3 \cdot 10^{-8}$ см²/В · с в монокристаллах MnGa_2Se_4 .

Полученные данные проанализированы на основе теории изотермических токов и эстафетного механизма

переноса заряда. Показано, что применение метода релаксации темного тока для изучения локализованных состояний в запрещенной зоне высокоомных полупроводников выявляет структуру ловушечных уровней и дает возможность получить информацию о параметрах захвата в монокристаллах MnGa_2Se_4 .

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития науки при президенте Азербайджанской Республики (грант № EIF-2011-1(3)-82/01/1).

Список литературы

- [1] А.Я. Вуль, А.Я. Шик. ФТП, **8** (10), 1952 (1974).
- [2] В.И. Архипов, Ю.А. Попов, А.И. Руденко. ФТП, **17** (10), 1817 (1989).
- [3] Б.Л. Тиман. ФТП, **7** (2), 225 (1973).
- [4] Б.Л. Тиман, А.П. Карпова. ФТП, **7** (2), 230 (1973).
- [5] Р.А. Сурис, Б.И. Фукс. ФТП, **14** (8), 1507 (1980).
- [6] J.G. Simmons, G.W. Taylor. Phys. Rev. B, **5** (4), 1619 (1972).

Редактор Л.В. Шаронова

Relaxation of dark current in MnGa_2Se_4 single crystals

O.V. Tagiev⁺⁺, S.G. Asadullayeva⁺, I.B. Bachtiyarly[‡], K.O. Tagiev^{‡*},

⁺ Institute of Physics,
Azerbaijan National Academy of Sciences,
Az-1143 Baku, Azerbaijan

^{*} Branche of Moscow State University
named after M.V. Lomonosov in Baku,
Az-1143 Baku, Azerbaijan

[‡] Institute of Chemistry,
Azerbaijan National Academy of Sciences,
Az-1143 Baku, Azerbaijan

Abstract The result of investigation of isothermal current and charge accumulation in MnGa_2Se_4 single crystals are presented in this work. The data obtained are analysed on the basis of the theory of isothermal currents and relay-race charge transport mechanism. It is shown that relaxation of dark current in MnGa_2Se_4 single crystals is associated with charge accumulation on deep levels as a result of injection from cathode. On the base of analysis the following parameters have been calculated: contact capacitance $C_k = 2 \cdot 10^{-13}$ F, the thickness of the charge accumulation layer $d_k = 4 \cdot 10^{-6}$ cm, the drift mobility of charge carries $\mu_3 = 3 \cdot 10^{-8}$ cm²/V · с MnGa_2Se_4 in single crystals.