

06.3

© 1992

## ФОТОКРИОСАР

О.А. Рябушкин, В.А. Бадер,  
Д.Ю. Бабкин

Обнаруженные недавно бистабильности фототока и фотолюминесценции (ФЛ) в  $n$ -GaAs при низкотемпературном примесном пробое (НПП) [1-4], позволили предложить все необходимые элементы как для оптоэлектронной, так и для оптической обработки информации с рекордно низкими энергетическими и мощностными характеристиками и хорошим быстродействием.

Известно, что многие однородные полупроводники (Ge, Si, GaAs, InSb, InP и др.) при гелиевых температурах имеют  $S$ -образную вольт-амперную характеристику (ВАХ). Нелинейность таких ВАХ связывается с НПП, наступающем при достижении некоторой критической напряженности электрического поля  $E \sim 10$  В/см, приложенного к омическим контактам полупроводникового образца. После пробоя проводимость такого образца возрастает на несколько порядков, что позволяет использовать это явление для создания быстродействующего (с малой мощностью и энергией на переключение) электронного бистабильного элемента для хранения и обработки электрической информации, который был назван КРИОСАР ("CRYO-SAR: Low temperature - (CRYO), Switching by Avalanche and Recombination") [5]. Как было предсказано [6], в предпороговой области элементы с НПП весьма чувствительны к свету. Оказалось, что высокая чувствительность характерна не только для фотонов с энергией  $\hbar\omega > E_g$  [7], но и для  $\hbar\omega < E_g$  [1] ( $E_g$  - ширина запрещенной зоны). В то же время пробой сопровождается резким изменением не только коэффициентов отражения и поглощения, но также спектра ФЛ [2-4, 8, 9].

Здесь приведены результаты исследования нового способа записи и считывания оптической информации на основе  $n$ -GaAs при НПП. Использовались пленки с концентрацией свободных носителей  $n = (10^{14} - 10^{15})$  см<sup>-3</sup> и холловской подвижностью  $\mu = (10^4 - 10^5)$  см<sup>2</sup>/Вс (при  $T = 77$  К) со степенью компенсации 0.5-0.95. Размеры исследуемых пленок изменялись от  $(3 \times 1 \times 0.008)$  мм<sup>3</sup> до  $(0.2 \times 0.1 \times 0.002)$  мм<sup>3</sup>. Пленки однородно освещались фотонами как от лазеров (He-Ne с  $\lambda = 0.63$  мкм; ЛТИ-701 с  $\lambda = 0.532$  мкм), так и от ксеноновой лампы мощностью 200 Вт с использованием различных фильтров для выделения фотонов с  $\hbar\omega < E_g$ . В режиме генератора тока ВАХ  $S$ -образная с характерными точками  $E_{th}$ ,  $J_{th}$  и  $E_S$ ,  $J_S$ , в которых дифференциальное сопротивление  $R_{diff}$  меняет знак, причем в пороговой точке

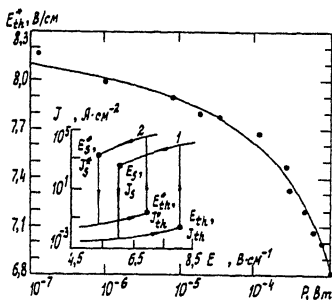


Рис. 1. Зависимость пороговой напряженности электрического поля, при которой происходит переключение элемента из „OFF“ в „ON“ состояние, от мощности света, падающего на элемент. На вставке приведены ВАХ, снятые в режиме генератора напряжения: 1 – темновая, 2 – с освещением ( $P=10^{-3}$  Вт). Размеры образца ( $1 \times 0.9 \times 0.002$ ) мм<sup>3</sup>.

(threshold)  $\rho_{дир}$  изменяется от положительного к отрицательному значению, а в точке поддержания (sustaining) – от отрицательного значения к положительному. В режиме генератора напряжения при освещении ВАХ изменяется так, что  $E_{th}^*$ ,  $E_s^*$  уменьшаются,  $J_{th}^*$ ,  $J_s^*$  увеличиваются, а ширина гистерезиса, определяемая как  $E_{th}^* - E_s^*$ , уменьшается (см. рис. 1). Зависимость пороговой напряженности  $E_{th}^*$ , при которой происходит переключение из низкопроводящего „OFF“ в высокопроводящее „ON“ состояние под воздействием света, приведена на рис. 1 ( $\hbar\omega > E_g$ ). На основе такой зависимости был предложен новый способ записи оптической информации на полупроводниковый элемент, обладающий НПП [10, 11].

Запись оптической информации осуществляется следующим образом. Элемент с двумя омическими контактами охлаждается до температуры  $T \ll E_D k^{-1}$  ( $E_D$  – энергия ионизации мелких доноров,  $k$  – постоянная Больцмана), прикладывается напряженность  $E$ , меньшая на  $\Delta E$ , чем темновая напряженность  $E_{th}$  ( $\Delta E = E_{th} - E$ ). Под действием света элемент переключается в состояние „ON“ и остается там до тех пор, пока сохраняются условия  $T \ll E_D k^{-1}$  и  $E > E_s$ .

Считывание осуществляется электрически с малого нагрузочного сопротивления, последовательно включенного в цепь питания элемента. Для повторной записи информации достаточно изменить напряженность на элементе до значения  $E < E_s$  и затем вернуть его к значению  $E$ . Для увеличения чувствительности к оптическому излучению и сокращения времени цикла запись–считывание–запись, был разработан автоматический способ регистрации оптической информации [11]. Интенсивность света ( $\lambda = 0.63$  мкм), которую удалось зарегистрировать, достигала  $10^{-15}$  Вт/мкм<sup>2</sup> при времени экспозиции  $10^{-3}$  с, что составляет единицы фотонов на квадратный микрон

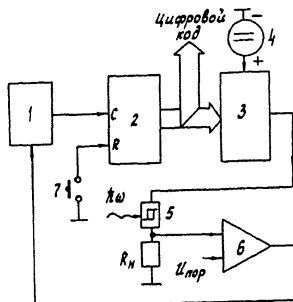


Рис. 2. Блок-схема устройства оптоэлектронной записи и считывания оптической информации. 1 – тактовый генератор, 2 – счетчик импульсов, 3 – цифро-аналоговый преобразователь, 4 – источник постоянного напряжения, 5 – бистабильный элемент, 6 – аналоговый компаратор, 7 – кнопка сброса/запуска устройства.

поверхности образца.  $\Delta E$  в этом случае была равна 0.2 В/см. Максимальная плотность электрической мощности (после переключения), рассеиваемая этим элементом –  $10^{-9}$  Вт/мкм<sup>3</sup>. Особенность автоматического способа записи оптической информации состоит в том, что изменяющаяся линейно напряженность электрического поля на элементе от значения, при котором элемент находится в „OFF” состоянии до значения, при котором он под воздействием света скачкообразно переходит в „ON” состояние, фиксируется в момент пробоя.

Блок-схема этого устройства приведена на рис. 2. С выхода тактового генератора 1 прямоугольные импульсы подаются на счетчик 2. Цифро-аналоговый преобразователь 3, счетчик 2, источник постоянного напряжения 4 задают линейно изменяющуюся напряженность электрического поля на элементе. Нагрузочное сопротивление  $R_N$  и устройство фиксации переключения 6 (аналоговый компаратор) формируют сигнал, запрещающий работу генератора после переключения элемента в „ON” состояние. Цифровой код на выходах счетчика 2 однозначно определяет интенсивность падающего на элемент света. Сброс в исходное состояние (стирание записанной информации) происходит путем кратковременного замыкания кнопки 7 на землю. Величина  $U_{пор}$  выбирается из условия  $U_N < U_{пор} < U_N^*$ , где  $U_N$  и  $U_N^*$  – падение напряжения на  $R_N$  до и после переключения элемента, соответственно.

Необходимо подчеркнуть, что кинетика переключения элемента из состояния „OFF” в „ON” и обратно не описывается одноэкспоненциальной функцией и зависит как от напряженности  $E$ , так и от интенсивности информационного света. Однако при  $E \sim E_{th}$  и низкой интенсивности время переключения лежит в наносекундном диапазоне для образцов с  $N_D + N_A < 10^{15}$  см<sup>-3</sup> ( $N_D$  и  $N_A$  – концентрация доноров и акцепторов).

В ходе исследования было обнаружено, что спектры ФЛ  $n-GaAs$  в состоянии „OFF“ и „ON“ резко отличаются друг от друга [2-4]. Так, спектр ФЛ, снятый в состоянии „OFF“ слабо зависит от напряженности до тех пор, пока  $E < E_{th}$  и практически не отличается от спектра ФЛ в отсутствии электрического поля. При переходе в состояние „ON“ интенсивность ФЛ падает по всему спектру более, чем на порядок, при этом тушение для отдельных линий (экситонная область) может достигать двух порядков по величине. Наблюдаемое изменение интегральной интенсивности ФЛ при переключении использовано для разработки элемента памяти не только с электрическим, но и с оптическим считыванием информации [12].

Авторы благодарят своих коллег Н.С. Платонова и В.А. Сабликова за критические замечания и плодотворное обсуждение результатов исследований, а В.И. Сергеева за изготовление образцов.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Рябушкин О.А., Сергеев В.И. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 11. С. 653-656.
- [2] Ryabushkin O.A., Platonov N.S., Sablikov V.A., Sergeyev V.I. // Proc. of ICOESE' 90 (SPIE). 1990. V. 1230.
- [3] Ryabushkin O.A., Platonov N.S., Sablikov V.A., Sergeyev V.I., Bader V.A. // Proceedings of SPIE's. 1990. V. 1362.
- [4] Ryabushkin O.A., Bader V.A. // Proc. of ECO (SPIE). 1991. V. 1505.
- [5] McWhorter A.L., Rediker R.H. // Proc. of the IRE. 1959. V. 47. P. 1207-1213.
- [6] Crandall R.S. // J. Phys. and Chem. Solids. 1970. V. 31. N 10. P. 2069-2077.
- [7] Khosla R.P., Fisher J.R., Burkey B.C. // Phys. Rev. B. 1973. V. 7. N 6. P. 2551-2564.
- [8] Lagois J., Wagner E., Bludau W., Lösch K. // Phys. Rev. B. 1978. V. 18. N 8. P. 4325-4331.
- [9] Богданов С.В., Лысенко В.Г. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 7. С. 606-609.
- [10] Рябушкин О.А., Сергеев В.И. А.с.№ 1415956. 1986. кл. G11C13/04.
- [11] Рябушкин О.А., Бадер В.А. А.с.№ 1671046. 1988. кл. G11C13/04.
- [12] Рябушкин О.А., Платонов Н.С., Сергеев В.И. А.с.№ 1478877. 1987. кл. G11C13/04.