

текущую степень деструктуризации по (1), и если  $D \geq D_{\text{пор}}$ , принимают решение о некондиционности ММ. При рабочей температуре двигателя  $t_p$  для распространенных марок моторных масел экспериментально определяют по критерию кондиционности масла и записывают в базу данных бортового контроллера значения пороговых рабочих эквивалентных электрических емкостей  $C_{\text{пор}}(t_p)$ , исходные эквивалентные электрические емкости  $C_{0p}$ , рассчитанные значения второй пороговой степени деструктуризации

$$D_{C_{\text{пор}}} = \lg \frac{C_{\text{пор}}(t_p) - C_{0p}}{C_{0p}},$$

измеряют текущее рабочее значение эквивалентной релаксационной емкости  $C(t_p)$ , рассчитывают рабочее значение степени деструктуризации

$$D_C = \lg \frac{C(t_p) - C_{0p}}{C_{0p}};$$

при  $D_C \geq D_{C_{\text{пор}}}$  принимается решение о некондиционности ММ.

#### Библиографические ссылки

1. *Макишаков Е. Д., Подкин Ю. Г.* Мониторинг моторного масла по эквивалентным релаксационным электрическим характеристикам // Вестник ИжГТУ. – 2014. – № 4(64). – С. 108–110.
2. *Макишаков Е. Д.* Система экспресс-анализа качества моторных масел // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 2(54). – С. 125–127.

Получено 08.12.2014

3. *Макишаков Е. Д.* О возможности прогнозирования срока замены моторного масла в двигателе внутреннего сгорания с помощью релаксационного диэлькометрического анализа // Институциональное и информационно-техническое обеспечение инновационных технологий : региональная науч.-метод. конф. – Сарapul : Изд-во СПИ, 2014. – С. 82–85.

4. *Сысоева С.* Новые тенденции и перспективные технологии автомобильных датчиков систем Powertrain и контроля эмиссии. – Ч. 2. О датчиках температуры и обо всех остальных // Компоненты и технологии. – 2006. – № 8. – С. 22–32.

5. *Макишаков Е. Д., Подкин Ю. Г.* Мониторинг моторного масла по эквивалентным релаксационным электрическим характеристикам.

6. *Подкин Ю. Г., Мишков М. Ю.* Особенности проектирования емкостных первичных измерительных преобразователей диссипативных жидких сред. – Ч. 1. Анализ принципиальных особенностей // Датчики и системы. – 2013. – № 8. – С. 21–26.

7. *Подкин Ю. Г.* Теоретические основы диэлькометрического контроля неравновесных дисперсных систем. – М. : Научтехлитиздат, 2003. – 158 с.

8. *Подкин Ю. Г., Мишков М. Ю.* Указ. соч.

9. *Макишаков Е. Д., Подкин Ю. Г.* Контроль загрязненности моторного масла по его эквивалентным релаксационным электрическим характеристикам // Институциональное и информационно-техническое обеспечение инновационных технологий : региональная науч.-метод. конф. – Сарapul : Изд-во СПИ, 2014. – С. 86–89.

10. *Макишаков Е. Д., Подкин Ю. Г.* Мониторинг моторного масла по эквивалентным релаксационным электрическим характеристикам.

11. *Макишаков Е. Д.* О возможности прогнозирования срока замены моторного масла в двигателе внутреннего сгорания с помощью релаксационного диэлькометрического анализа.

УДК 539.149

**А. Я. Клочков**, кандидат технических наук, доцент, Рязанский государственный радиотехнический университет  
**А. И. Коршунов**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова  
**С. Г. Емельянов**, доктор технических наук, профессор, Юго-Западный государственный университет, Курск  
**С. А. Батуркин**, Рязанский государственный радиотехнический университет

## ТОКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ НЕУПОРЯДОЧЕННОГО ПОЛУПРОВОДНИКА СТРУКТУРЫ GST225

**Д**ля исследования динамики фазовых переходов по изменению электропроводности образцов был предложен метод дополнительного смещающего тока [1, 2]. Применение постоянного токового смещения позволило регулировать среднюю температуру активной области, изменяя время процессов плавления и кристаллизации.

Цель работы – моделирование, расчет параметров и выявление особенностей структуры нелегированных и легированных неупорядоченных полупроводников GST225.

### Изучение влияния примесей

Чтобы получить более полное представление о влиянии примесей на кристаллические и аморфные GST, необходимо провести более систематический анализ с учетом обеих фаз. Кроме этого необходимо сравнить различные типы примесей и наметить связь между химической природой примесей и изменением атомной и электронной структуры, тем самым разработать руководство, чтобы выбрать оптимальные примеси [3].

### Численное моделирование

Основные особенности переключения, проверенные в ходе эксперимента:

- процесс включения происходит через время задержки  $t_d$  после того, как к электродам прибора приложено напряжение, превосходящее по амплитуде  $V_{th}$ ;
- пороговое напряжение  $V_{th}$  уменьшается с ростом температуры;
- пороговое напряжение пропорционально расстоянию между электродами  $d$ , т. е. пороговое поле  $E_{th}$ . Величина порогового поля  $14 \cdot 10^5$  В/см;
- время задержки  $t_d$  уменьшается с ростом амплитуды переключающего импульса;
- через время  $t_d$  возникает нестабильность, приводящая к установлению включенного состояния. Время переключения  $t_d$  не более чем  $10^{-10}$  с;
- во включенном состоянии ток протекает в токовом канале (шнурится);
- в образце после переключения требуется некоторое время  $t_f$  для того, чтобы зафиксировать проводящее состояние переводом запоминающего объема в кристаллическое состояние, таким образом, время записи составляет  $t = td + t_f$ .

Введены следующие обозначения для модели: через  $E_c$  и  $E_v$  обозначены края разрешенных зон;  $E_g$  – ширина запрещенной псевдозоны;  $B$  – эмиссионный барьер для дырок;  $F$  – уровень Ферми. Поскольку эмиссия идет с ловушек, расположенных вблизи уровня Ферми, принималось  $B = F$ . Мелкие ловушки равномерно распределены в энергетическом зазоре  $E_0$  [4]. Величина  $E_0$  характеризует только те ловушки, которые взаимодействуют с зоной в течение времени задержки  $t_d$ . Мелкие ловушки участвуют в захвате дырок с последующим их освобождением (уровни прилипания), однако они не могут служить первичными источниками дырок. В запрещенной зоне могут присутствовать другие энергетические уровни.

Наложение электрического поля должно способствовать увеличению вероятности эмиссии дырок, что должно привести к появлению на зависимости тока от напряжения сверх линейного участка.

Ток образца имеет две компоненты:  $I_c$  – ток проводимости, создаваемый равновесными дырками, и  $I_{em}$  – эмиссионный ток, создаваемый дырками, эмитированными под действием высокого поля с центров  $N_e$ . При полях близких к пороговому  $E_{th}$ , величина равновесной концентрации пренебрежимо меньше концентрации эмитированных дырок [5].

Модель, используемая для расчета начальной стадии процесса переключения образца в проводящее состояние, базируется на допущении, что в высоком электрическом поле возникают динамические проводящие области, локализованные в пространстве. Проводящая область содержит по крайней мере один проводящий объем с длиной ребра  $\Lambda$ . Эти модельные объемы формируют пространственную структуру с кубической симметрией. Заряд распределен по объему не равномерно, т. е. возникают динамические проводящие области, локализованные

в пространстве. Пространственное распределение проводящих объемов в структуре изменяется через время  $\tau = \Lambda/v$ , где  $v$  – средняя тепловая скорость. Если приложенное поле постоянно, то их пространственное распределение может изменяться, однако общее число проводящих объемов постоянно и ток через структуру также постояен. Число дырок, которые дают вклад в эмиссионную проводимость, равно числу проводящих объемов:  $N_e P(E)$ , таким образом,  $P(E)$  характеризует долю пространства, заполненную проводящими объемами.

С повышением температуры член, обусловленный перколяцией, приводит к уменьшению пороговой напряженности, однако это уменьшение весьма мало ( $\sim kT$ ) и не может объяснить наблюдаемую в экспериментах температурную зависимость порогового напряжения [6].

Это свидетельствует о том, что в расчетах должна быть учтена температурная зависимость длины свободного пробега.

На рис. 1 показаны кривые, характеризующие зависимость порогового поля от температуры в некоторых стеклообразных полупроводниках, обладающих эффектом порогового переключения.

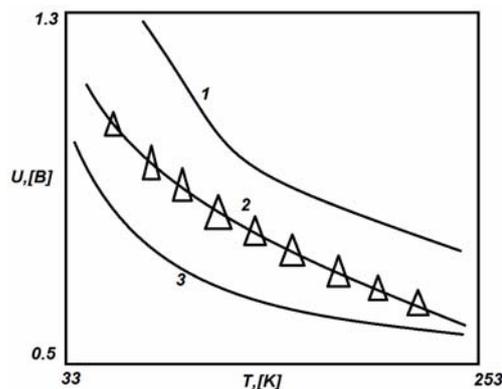


Рис. 1. Зависимости порогового напряжения от температуры: 1 –  $N_t = 1,6 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>; 2 –  $N_t = 1,5 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>; 3 –  $N_t = 1,4 \cdot 10^{19}$  см<sup>-3</sup>

Точками на рис. 1 обозначены значения, полученные из эксперимента, линиями – рассчитанные результаты. Значения параметров, при которых результаты расчета совпадают с экспериментальными, приведены в подписи к рисунку, они близки к параметрам состава GST.

При расчетах толщина аморфного слоя принималась равной 30 нм. Точки на линии 2 соответствуют экспериментальным. Точки соответствуют кривой, если  $E_0 = 0,022$  эВ. Низкие значения величины  $E_0$  подтверждают тот факт, что только очень мелкие ловушки принимают участие в процессе.

Согласно расчетам должна наблюдаться линейная зависимость  $E_{th}(E_g)$ . Экспериментальные результаты подтверждают это, несмотря на значительный разброс точек.

Одним из ключевых параметров для понимания природы процесса переключения в ХСП является проводимость аморфных полупроводников в сильных электрических полях (рис. 2, 3).

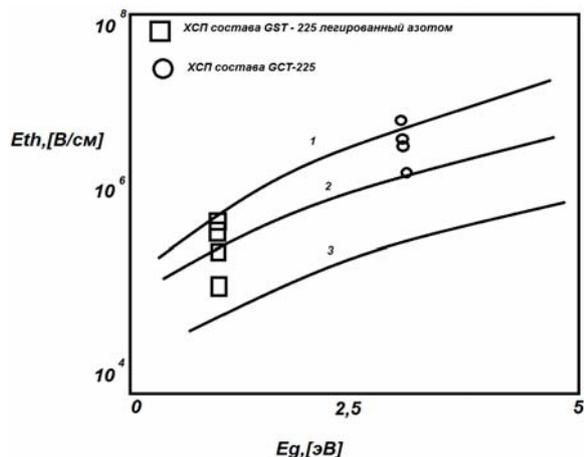


Рис. 2. Зависимости порогового напряжения от ширины запрещенной зоны материала: 1 –  $\Lambda = 5$  нм; 2 –  $\Lambda = 10$  нм; 3 –  $\Lambda = 15$  нм

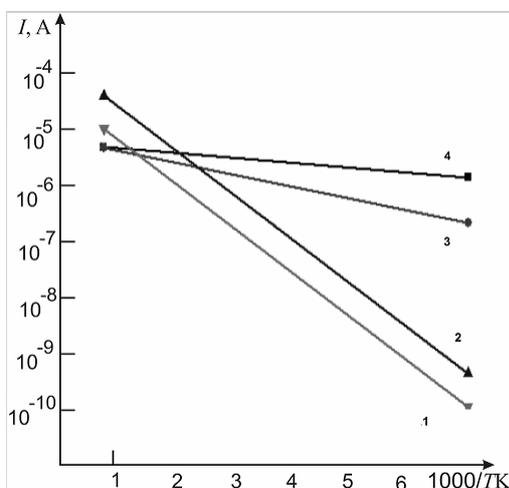


Рис. 3. Зависимости тока через образец от температуры, измеренные при различных значениях напряжения  $V$ : 1 – 0,1 В; 2 – 0,7 В; 3 – 1,4 В; 4 – 1,6 В

Получено 30.01.15

Как видно из приведенных зависимостей, с увеличением приложенного к образцу напряжения меняется наклон прямых.

**Выводы**

При условии, что распределение электрического поля в образце равномерное, с ростом поля проводимость образца возрастает, при этом энергия температурной активации проводимости тем меньше, чем выше электрическое поле.

Указанное свойство может быть использовано при построении высокостабильных ячеек фазовой памяти. Однако необходимо исследовать процессы фазового перехода при более высоких степенях неоднородности ХСП, используя инструменты молекулярного и квантово-механического моделирования.

**Библиографические ссылки**

1. Privitera S., Rimini E., Zonca R. // Appl. Phys. Lett., 85 (15), 3044 (2004).
2. C. Rivera-Rodriguez, E. Prokhorov, Yu. Kovalenko, E. Morales-Sanchez, J. Gonzalez-Hernandez // Appl. Surf. Sci., 247, 545 (2005).
3. S. M. Kim, M. J. Shin, D. J. Choi, K. N. Lee, S. K. Hong, Y. J. Park // Thin Sol. Films, 469–470, 322 (2004).
4. Моделирование ячеек энергонезависимой фазовой памяти на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников состава GST-225 / А. Я. Клочков, А. А. Скунецев, А. М. Левин, Е. Ю. Батуркина // Наноинженерия. – 2014. – № 2(32). – С. 36–38.
5. Ушаков П. А., Батуркина Е. Ю. Моделирование неупорядоченного полупроводника структуры GST225 // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2(22). – С. 34–40.
6. Полимерные композиты на основе углеродных нанотрубок в микроволновых приложениях / О. Г. Поддубская, Н. И. Вольнец, И. А. Бочков, П. П. Кужир, С. А. Максименко, Е. Ю. Батуркина, О. А. Горлин // Вестник Рязанского гос. радиотех. ун-та. – 2013. – № 4-3(46). – С. 100–102.

УДК 519.254:658.562.3: 504.064.36

**Х. Ш. Хуссейн**, аспирант, Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова, Барнаул  
**А. Г. Якунин**, доктор технических наук, профессор, Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова, Барнаул

**МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

**В**опросы выявления закономерностей в контролируемых процессах и явлениях занимают большое место в современных методах научных исследований. Не меньшее значение, как для науки, так и для повседневной жизни, имеет и решение обратных задач, связанных с выявлением

ситуаций, обусловленных нарушением таких закономерностей, так называемых аномалий [1, 2]. Аномалия, в соответствии с определениями, приведенными в толковых словарях Ожегова и Даля, – это отклонение от нормы, от общей закономерности, некоторая неправильность поведения. С точки зре-