

Д. т. н. А. А. АЩЕУЛОВ, Ю. Г. ДОБРОВОЛЬСКИЙ,  
к. т. н. В. А. БЕЗУЛИК

Дата поступления в редакцию  
20.09 1999 г.  
Оппонент д. т. н. А. А. ДРУЖИНИН

Украина, г. Черновцы, Гос. ун-т им. Ю. Федьковича, ЦКБ «Ритм»

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ НА ПАРАМЕТРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

*Воздействие электрического и магнитного полей соответствующей геометрии может стать основой коррекции параметров отбракованных полупроводниковых приборов.*

Вопросы надежности полупроводниковых приборов, повышения процента выхода годных изделий, стабильности параметров остаются весьма актуальными. Обычно они решаются на этапах изготовления — усовершенствованием технологических процессов, конструкции и — в итоге — отбраковкой ненадежных изделий.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности коррекции параметров отбракованных полупроводниковых приборов на основе использования показанных ниже воздействий.

В последнее время получены результаты, которые говорят о том, что свойства некоторых полупроводниковых материалов и приборов на их основе могут быть изменены в результате воздействия на них сочетания электрического и магнитного полей соответствующей геометрии (ЭМПСГ) [1,2]. Как известно, такие сочетания в определенных условиях приводят к поперечной спиновой поляризации физического вакуума Дирака, что, в свою очередь, порождает спинтормсионные поля [3, с. 356—380; 4].

Анализ работ, посвященных исследованию спинтормсионного воздействия в области материаловедения,

показывает, что они представлены незначительно и в основном касаются металлов и сплавов [5—9]. Настоящая работа посвящена изучению влияния этого воздействия на некоторые полупроводниковые приборы. К ним относятся: фотодиоды на основе кремния (Si), германия (Ge), сурьмянистого индия (InSb) [10, с. 110, 128]; анизотропные термоэлементы [11, 12] из высокосоввершенных и модуляционных монокристаллов антимонида кадмия (CdSb), а также направленно-закристаллизованных игольчатых эвтектик CdSb—CoSb [13]; оптические фильтры на основе высокосоввершенных кристаллов CdSb [14, с. 253—256] и монокристаллов CdTe [15, с. 15—25]. Исследования параметров фотодиодов проводились по стандартным методикам [16, с. 58], анизотропия термоэдс  $\Delta\alpha = \alpha_{33} - \alpha_{22}$  в области 220—380 К определялась согласно [17], а оптические свойства — с помощью спектрофотометров ИКС-21, ИКС-31. В качестве источника воздействия использовалось устройство [18], основанное на сочетании статических электрического и магнитного полей соответствующей геометрии.

Впервые исследование влияния ЭМПСГ на полупроводниковые фотодиоды было проведено нами в [1, 19, 20]. Предметом изучения являлись серийные кремниевые низковольтные фотодиоды УФД01, УФД02 и ФД288А, критерием воздействия служил обратный (темновой) ток ( $I_t$ ). Эти приборы оказались достаточно восприимчивы к ЭМПСГ: величина  $I_t$  необратимо уменьшалась до 40%.

Усредненные вольтамперные характеристики до воздействия ЭМПСГ, в процессе и после него приведены на рис. 1 (здесь  $U_p$  — напряжение смещения диода). Основные изменения, как видно из рис. 2,

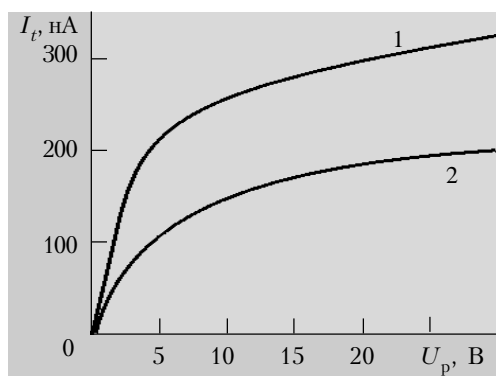


Рис. 1. Усредненные вольтамперные характеристики кремниевых фотодиодов до воздействия ЭМПСГ (1) и после воздействия через 30, 60, 90, 120 и 180 минут (2)

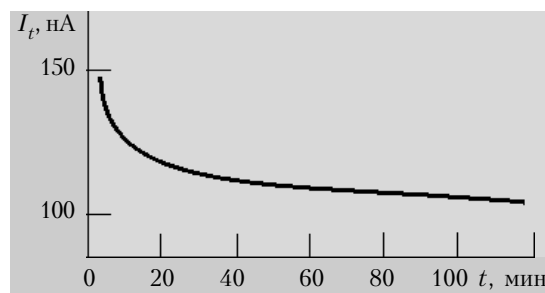


Рис. 2. Скорость изменения темнового тока кремниевых фотодиодов типа УФД02 вследствие воздействия ЭМПСГ (рабочее напряжение 10 В)

происходят в течение первых 10–15 мин. Контроль этих характеристик через сутки, две недели и месяц после воздействия показали их стабильность и необратимость во времени.

Дальнейшие исследования показали, что определяющее влияние ЭМПСГ оказывает на генерационную составляющую обратного (темнового) тока, обусловленную наличием неосновных носителей заряда (ННЗ) в обедненной области кристалла фотодиода. Величина этой составляющей в основном определяется временем жизни ННЗ, которое увеличивается в результате воздействия ЭМПСГ на 40%. (Интересно отметить, что на такую же величину уменьшается время жизни ННЗ в исходном кремнии в процессе термических операций формирования структуры кристалла фотодиода — 1170–1400 К.)

Несколько позже были исследованы фотодиоды на основе как германия, так и сурьмянистого индия. Воздействие на германиевые фотодиоды оказывалось как в активном, так и в пассивном режимах работы генерирующего устройства ЭМПСГ. В первом случае величина тока снизилась на 49%, а дальнейшая обработка в пассивном режиме привела к возрастанию достигнутого значения на 5–7%. Фотодиоды на основе сурьмянистого индия подвергались воздействию в активном режиме в течение часа. Критериальным параметром в этом случае являлось напряжение шума ( $U_{ш}$ ). Динамика этой величины во времени представлена на **рис. 3**. Как следует из рисунка, воздействие уменьшило величину  $U_{ш}$  на 33%.

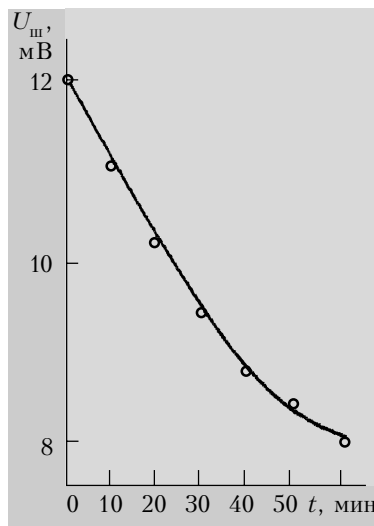


Рис. 3. Зависимость шумового сигнала фотодиода на основе InSb от длительности воздействия ЭМПСГ

Изучение поведения токовой монохроматической чувствительности кремниевых фотодиодов в результате воздействия ЭМПСГ указывает на ее изменение в длинноволновой области. Характер этих изменений, по-нашему мнению, позволяет сделать вывод об улучшении структурных свойств кристаллов фотодиодов. На **рис. 4** представлена зависимость анизотропии термоэдс от времени воздействия для анизотропных термоэлементов (АТ) на основе различных материалов. Из приведенных результатов следует, что наиболее эффективно ЭМПСГ про-

является в первые 30 мин. Максимальные изменения анизотропии термоэдс наблюдаются для модуляционного CdSb и эвтектики CdSb–CoSb, причем у последней на двадцатой минуте воздействия наблюдается смена знака анизотропии термоэдс.

Измерение электропроводности эвтектики показывает, что в этот момент наблюдается резкое возрастание ее величины и изменение типа проводимости. Анизотропия термоэдс высокоэффективного монокристалла CdSb после воздействия меняется значительно слабее.

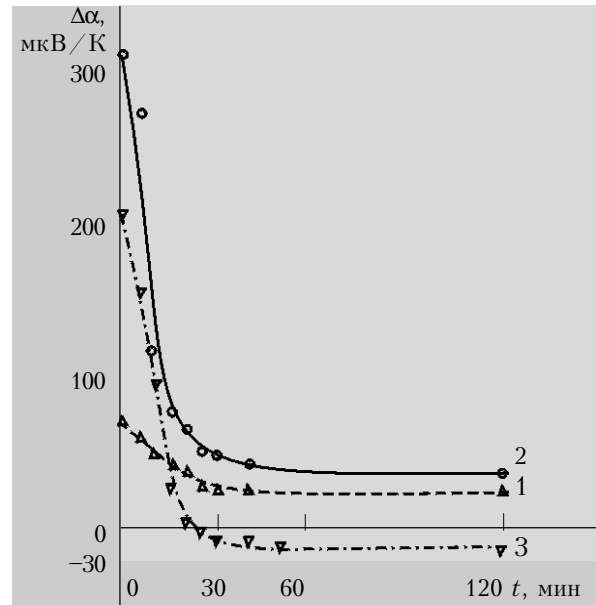


Рис. 4. Температурная зависимость анизотропии термоэдс АТ из высокосоввершенных (1) и модуляционных (2) монокристаллов CdSb, а также направленно-закристаллизованных игольчатых эвтектик CdSb–CoSb (3) от длительности воздействия ЭМПСГ. (Результаты измерений соответствуют температуре 293 К.)

Анализ оптических свойств фильтров из CdSb (характеризуемых высоким кристаллографическим совершенством) и монокристаллического CdTe (пониженной степени дефектности) в области их прозрачности позволяет сделать выводы о том, что ЭМПСГ практически не оказывает влияния на величину коэффициентов оптического поглощения. В то же время для модуляционных монокристаллов CdSb, характеризующихся наличием упругих локальных напряжений и упорядоченной дефектной структурой, ЭМПСГ вызывает уменьшение коэффициента оптического поглощения на 35–45%, а также возрастание крутизны коротковолнового края поглощения.

Для выяснения причин, вызывающих столь существенные изменения характеристик кристаллов, нами были проведены рентгеноструктурные исследования, основанные на методе аномального прохождения рентгеновских лауэ-лучей [21, 22]. Полученные результаты показали, что ЭМПСГ вызывает уменьшение величины как упругих напряжений (что сопровождается возрастанием радиусов изгиба со-

ответствующих атомных плоскостей в 3–6 раз для модуляционных и эвтектических кристаллов и до 1,5 раз для высокосовершенного CdSb), так и плотности дефектов. Это, в свою очередь, ведет к перераспределению конфигурационной, электронной и фононной составляющих внутренней энергии кристалла [23; 24, с. 181–222], изменению зонного спектра носителей заряда и, соответственно, его физических характеристик — электрических, тепловых, оптических и других, в т. ч. и исследуемой нами анизотропии термоэдс.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Эффект влияния электрического и магнитного полей соответствующей геометрии на полупроводниковые приборы наблюдается в случаях использования кристаллических структур, характеризующихся нестабильностью энергетических состояний.
2. Влияние ЭМПСГ на полупроводниковые приборы в ряде случаев способно улучшить некоторые из их параметров.
3. На основе эффекта влияния ЭМПСГ на полупроводниковые приборы возможна разработка методов коррекции их параметров на различных технологических этапах.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Ащеулов А. А., Добровольский Ю. Г., Романюк І. С. Дослідження впливу певних комбінацій електричного та магнітного полів на властивості напівпровідникових приладів // *Наук. вісник Чернівецького ун-ту.* — 1999. — Вип. 29. Фізика. — С. 174–176.
2. Тарасюк І. І., Добровольський Ю. Г., Мікітчук А. В. Про вплив певної комбінації електричного та магнітного полів на кристалічне тіло // *Там же.* — 1999. — Вип. 50. Фізика. — С. 65–67.
3. Шипов Г. И. Теория физического вакуума. — М.: Наука, 1997.
4. Акимов А. Е. Эвристическое обсуждение проблемы поиска новых дальностей. EGS-концепции / М.: МНТЦ венчурных и нетрадиционных технологий. — Препринт № 7А. — 1991.
5. Акимов А. Е., Курик М. В., Тарасенко В. Я. Влияние спирного (торсионного) поля на процесс кристаллизации мицелярных структур // *Биотехнология.* — 1991. — Т. 3. — С. 69–72.
6. Майборода В. П., Акимов А. Е., Максимова Г. А. и др. Влияние торсионных полей на расплав олова // М.: МНТЦ венчурных и нетрадиционных технологий. — Препринт № 49. — 1993.
7. Maiboroda V. P. Investigation of gallium and indium during melting // *Thin Solid Films.* — 1990. — Vol. 195. — P. 1–10.
8. Майборода В. П. Изменение структуры меди на стадии предплавления // *Изв. АН СССР. Металлы.* — 1990. — № 4. — С. 49–52.
9. Абрамов А. А., Акимов А. Е., Булатов Э. И. и др. Физические основы и экспериментальные результаты исследований торсионных технологий в производстве материалов // *Сб. докл. II междунар. аэрокосм. конгресса.* — М., 1997. — С. 76–109.
10. Анисимова И. Д., Викулин И. М., Зайтов Ф. А. и др. Полупроводниковые фотоприемники: ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра. — М.: Радио и связь, 1984.
11. Снарский А. А., Пальти А. М., Ащеулов А. А. Анизотропные термоэлементы // *ФТП.* — 1997. — Т. 31 (1). — С. 1281–1298.
12. Ащеулов А. А., Гуцул И. В., Раренко А. И. Исследование эдс и кпд анизотропных оптикотермоэлементов // *ИФЖ.* — 1997. — Т. 71 (3). — С. 538–542.
13. Ащеулов А. А., Воронка Н. К., Маренкин С. Ф. и др. Получение и использование оптимизированных материалов из антимонида кадмия // *Неорганические материалы.* — 1996. — Т. 32 (9). — С. 249–260.
14. Лазарев В. Б., Шевченко В. Я., Гримберг Я. Х., Соболев В. В. Полупроводниковые соединения  $A_2V_3$ . — М.: Наука, 1978.
15. Ащеулов А. А. Физико-химические основы технологии оптических, анизотропных термоэлектрических и оптико-термоэлектрических материалов из антимонида кадмия / Автореф. дисс. ... д. т. н. — Черновцы: ЧГУ, 1994.
16. ГОСТ 17772–80. Методы измерения фотоэлектрических параметров. Метод 1.1. — М.: Госстандарт, 1988.
17. Ащеулов А. А., Раренко И. М., Пилат И. М. Влияние теплообмена на вольтваттную чувствительность АТ // *Физическая электроника.* — 1980. — № 21. — С. 96–100.
18. А. с. 1748662 СССР. Способ коррекции структурных характеристик материалов и устройство для его осуществления / А. Е. Акимов, В. Я. Тарасенко, А. В. Самохин и др. — Патенты на изобретения. — 1992, № 26.
19. Добровольський Ю. Г., Ащеулов А. А. Аналіз темного струму фотодіодів при одночасній дії комбінації електричного та магнітного полів // *Наук. вісник Чернівецького ун-ту.* — 1999. — Вип. 50. Фізика. — С. 108–109.
20. Ащеулов А. А., Годованюк В. Н., Добровольский Ю. Г. и др. Оптимизация надежности кремниевых р–і–п-фотодиодов по темновому току // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре.* — 1999. — № 1. — С. 35–38.
21. Даценко Л. И., Кисловский Е. Н. Изучение слабкой локальной кривизны атомных плоскостей кристалла с помощью лауэ-дифракции рентгеновских лучей // *УФЖ.* — 1976. — Т. 21 (5). — С. 825–828.
22. Мельничук И. В., Павлов Р. А., Ащеулов А. А. и др. Исследование упругих деформаций в кристаллах антимонида кадмия // *УФЖ.* — 1980. — Т. 25 (12). — С. 2081–2083.
23. Дейбук В. Г., Раренко А. И., Ащеулов А. А. и др. Динамика решетки и тепловые свойства CdSb / К.: ИФАНУ. — Препринт № 15. — 1991.
24. Маньик О. Н. Многофакторный подход в теоретическом материаловедении. — Черновцы: Прут, 1999.