

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**,

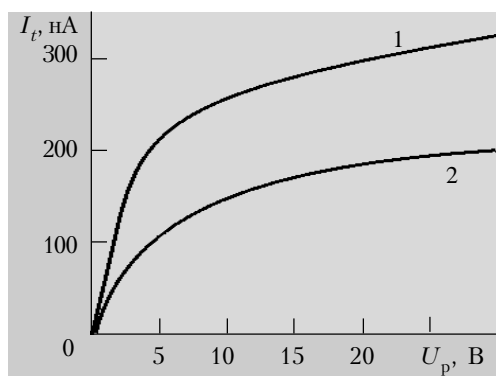


Рис. 1. Усредненные вольтамперные характеристики кремниевых фотодиодов до воздействия ЭМПСГ (1) и после воздействия через 30, 60, 90, 120 и 180 минут (2)

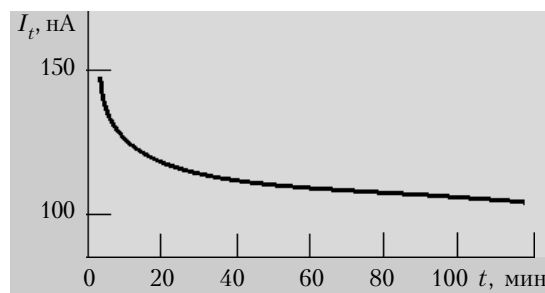


Рис. 2. Скорость изменения темнового тока кремниевых фотодиодов типа УФД02 вследствие воздействия ЭМПСГ (рабочее напряжение 10 В)

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%.

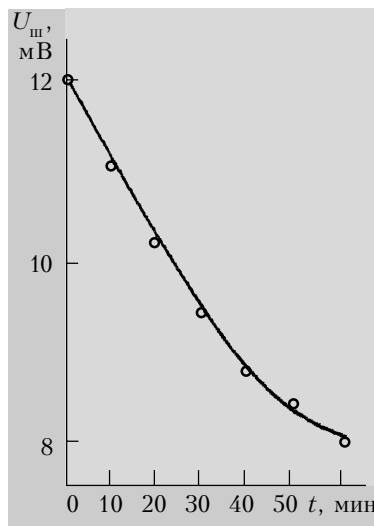


Рис. 3. Зависимость шумового сигнала фотодиода на основе InSb от длительности воздействия ЭМПСГ

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.

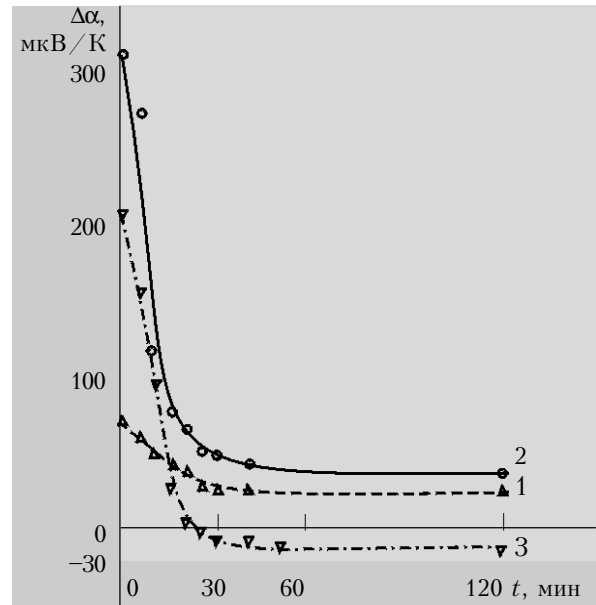


Рис. 4. Температурная зависимость анизотропии термоэдс АТ из высокосоввершенных (1) и модуляционных (2) монокристаллов CdSb, а также направленно-закристаллизованных игольчатых эвтектик CdSb–CoSb (3) от длительности воздействия ЭМПСГ. (Результаты измерений соответствуют температуре 293 К.)

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 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 слабой 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. Манык О. Н. Многофакторный подход в теоретическом материаловедении. — Черновцы: Прут, 1999.