

Объединением пакета ESTA и программы TUBE была создана возможность к построению полной модели нейтронного генератора с ускорительной трубкой диодного типа.

В заключение заметим, что описанный пакет может быть использован для расчета ионно-оптических систем инжекторов линейных ускорителей ионов. Математическое обеспечение составляет основу САПР ускорительных трубок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гулько В.М., Ключников А.А., Коломиец Н.Ф. и др. Ионно-вакуумные приборы для генерации нейтронов в электронной технике. Киев: Техника, 1988.
2. Ильин В.П. Численные методы решения задач электрофизики. М.: Наука, 1985.
3. Беспалов Д.Ф., Войтенко В.А., Гулько В.М. и др. Газонаполненная малогабаритная нейтронная трубка с ионным источником повышенной эффективности. — В кн.: Нейтронная физика, т. 4. М., ЦНИИатоминформ, 1988, с. 27—29.
4. Parilis E. Kinetic Electron Emission and Fast Ion Bombardment. Reprint from «A survey of phenomena in ionized gases». Vienna: IAEA, 1968.
5. Гулько В.М., Коломиец Н.Ф., Шиканов А.Е., Яковлев К.И. Расчет пробега дейтронов в мишенях нейтронных генераторов с учетом изменения концентрации трития по глубине. — Атомная энергия, 1986, т. 61, вып. 2, с. 131—132.

Поступило 3.09.90

В окончательной редакции 22.04.93

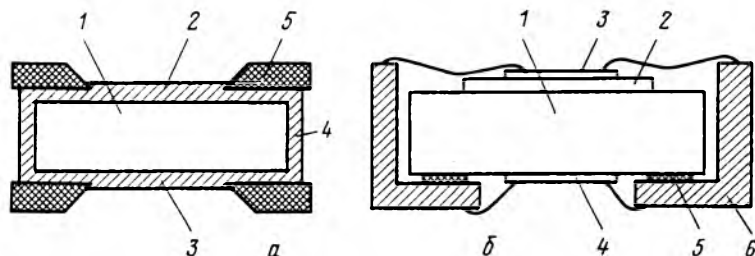
УДК 539.1.074.55

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ НА СТАБИЛИЗАЦИЮ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ ДЕТЕКТОРОВ С ТОНКИМ «МЕРТВЫМ» СЛОЕМ

Муминов Р.А., Подъячев В.Н., Малаева В.Т., Джурев У.Б., Оксман М.М.,
Ишмуратов Г.В. (ФТИ НПО «Физика—Солнце» АН РУз)

Кремниевые пролетные детекторы ядерного излучения с тонким мертвым слоем находят все более широкое применение в современной прикладной спектрометрии. Однако наряду с несомненными достоинствами каждый из них имеет недостатки, связанные с невысокими омическими свойствами и стабильностью параметров тыльного контакта. Под невысокими омическими свойствами контакта имеется в виду наличие инжекции с контакта неосновных носителей заряда, вызывающей спонтанное возрастание обратных токов, шумов, энергетического разрешения поверхностно-барьерных детекторов (ПБД) при напряжении смещения ниже эксплуатационного.

В настоящей работе предлагаются кремниевые ПБД двух типов с тонким мертвым слоем входного и выходного окон, отличающиеся от аналогов стабильностью параметров тыльных контактов и изготовленных по методике [1, 2]. Особенностью ПБД первого типа является стабильный $p-n$ -переход фронтального гомоконтакта $Au-p-Si$ и тонкого тыльного алюминиевого контакта толщиной алюминиевого или золотого покрытия 15—25 нм. Резкость фронтального $p-n$ -перехода обеспечивается соответствующей химической обработкой чувствительной поверхности до нанесения золотого контакта в слабощелочной среде, содержащей анилиновую добавку. Стабильность $p-n$ -перехода достигается соответствующей пассивацией и защитой свободной поверхности входного и выходного окон за пределом чувствительной области органическим полимером (рис. 1, а). Особенность ПБД второго типа с резким гетероконтактом входного окна — наличие



Р и с. 1. Конструкция ПБД первого типа: 1 — кремний nSi БИ; 2, 3 — фронтальный $AuSi$ - и тыльный $pSiAl$ -контакт соответственно; 4 — органическая защита ЭКБ 10; 5 — корпус (а); второго типа: 1 — кремний pSi БМД 1ГВ; 2 — слой α -германия; 3, 4 — фронтальный Al - и тыльный $pSiAl$ -контакт соответственно; 5 — клей БФ-6; 6 — корпус (б)

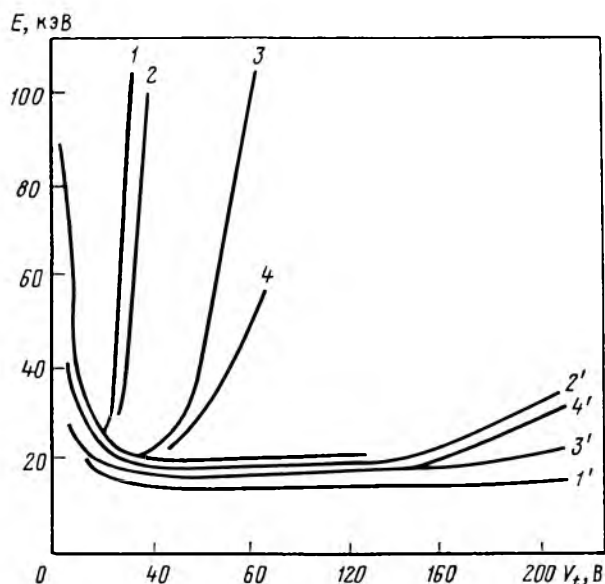


Рис. 2. Вольт-шумовая характеристика до и после облучения электронами

На рис. 2 виден эффект резкого возрастания шумов при напряжении, близком к напряжению полного обеднения $V_{ю} \sim 30-40$ В до облучения (см. кривые 1—4), в то же время облучение тыльного контакта электронами устраняло этот эффект независимо от типа фронтального и тыльного контакта (см. кривые 1'—4'). Кроме того, радиационная обработка тыльного контакта электронами увеличивала диапазон линейности вольт-шумовой характеристики до напряженности электрического поля $E_f \geq 2 \cdot 10^4$ В/см.

Высокая корреляция токовых, шумовых и спектрометрических характеристик ПБД отмечалась в работе [3], аналогичный эффект спонтанного ухудшения эксплуатационных параметров наблюдался на токовых и спектрометрических характеристиках ПБД [4]. Для выявления физических причин указанных явлений были исследованы радиометрические характеристики мертвого слоя выходного окна до и после облучения тыльных контактов. Анализ рис. 3 показал снижение потерь энергии α -частиц в выходном окне ПБД после облучения электронами энергией 40—60 кэВ для ПБД обоих типов независимо от детекторной структуры. Этот эффект стабилен в течение не менее 6—9 мес.

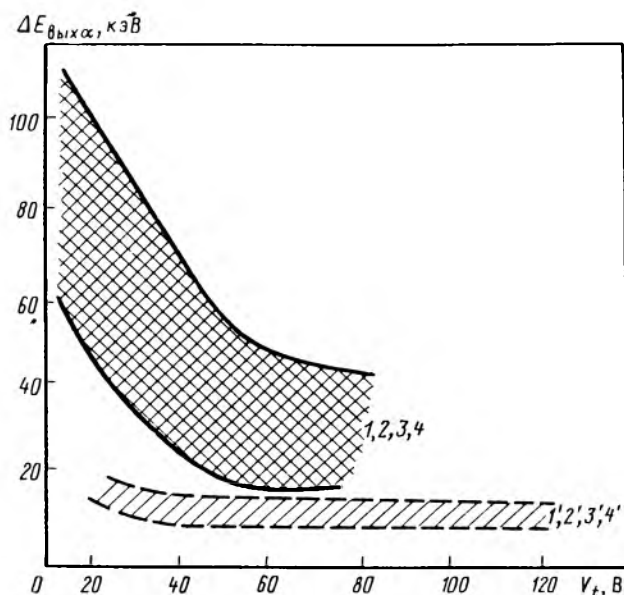


Рис. 3. Зависимость потерь энергии в мертвом слое выходного окна от α -частицам энергией 5,5 МэВ от напряжения обратного смещения до (1, 2) и после облучения (1', 2') ПБД первого (1, 1') и второго типа (2, 2')

тонких алюминиевых и германиевых слоев толщиной 35 и 50 нм на фронтальной поверхности и тыльного золотого контакта толщиной 15—25 нм. Резкость и стабильность параметров гетероконтакта обеспечиваются соответствующей химической обработкой чувствительной поверхности в окислительной хлорсодержащей среде и последующей защитой свободной поверхности органическим полимером (рис. 1, б).

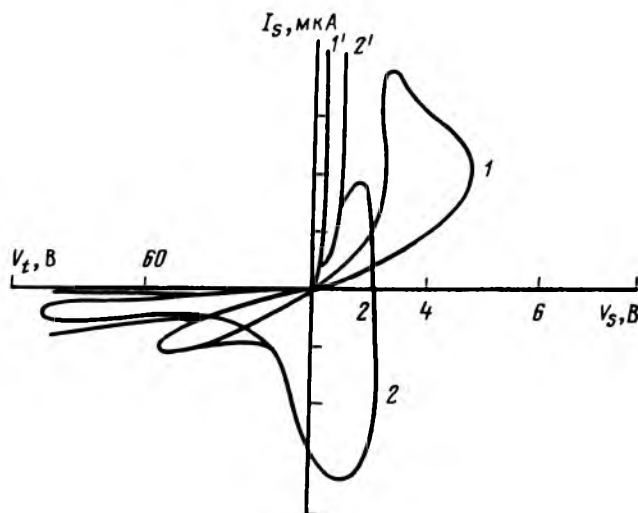
Токовые, шумовые, радиометрические характеристики ПБД оптимизировали путем облучения тыльных контактов электронами энергией 40—60 кэВ дозой $10^{15} - 10^{16}$ см² после вакуумного напыления контактов по методике [2]. Качество и стабильность параметров ПБД с тонким мертвым слоем оценивали посредством измерения динамической вольт-амперной, вольт-шумовой и радиометрической характеристик, а именно зависимости потерь энергии α -частиц и протонов от напряжения смещения в мертвом слое выходного окна и зависимости энергетического разрешения ПБД по протонам отдачи от энергии протонов в диапазоне 100—200 кэВ до и после облучения тыльного контакта электронами, а также после 6 мес хранения приборов в нормальных условиях.

Корреляция вольт-шумовых и $\Delta E_{\alpha}(V_t)$ -характеристик ПБД позволила предположить, что наблюдаемый эффект связан с инжекцией неосновных носителей (дырок и электронов) с тыльного контакта вследствие его невысоких омических характеристик. Для доказательства правильности этого предположения была измерена динамическая вольт-амперная характеристика ПБД до и после облучения на частоте 3 Гц (рис. 4), которая дает возможность исследовать не только омические характеристики тыльного контакта, но и кинетику накопления заряда неосновных носителей в потенциальной яме встроенного p - n -пере-

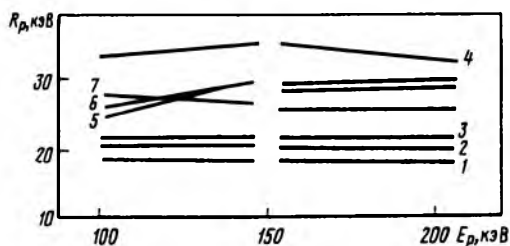
хода в области тыльного контакта. На рис. 4 можно проследить петлю гистерезиса до облучения (кривые 1, 2) и почти полное ее исчезновение после облучения (кривые 1', 2'). Так как площадь петли гистерезиса пропорциональна заряду неосновных носителей, аккумулированному в потенциальной яме инжектирующего контакта, то его облучение, по-видимому, приводит к полному исчезновению инжекции свободных носителей с тыльного контакта ПБД, оптимизируя тем самым его омические свойства.

Необратимость эффекта оптимизации свойства тыльного контакта показывает наличие высоких радиометрических характеристик ПБД в процессе работы и хранения. На рис. 5 показаны сравнительные спектрометрические характеристики ПБД по протонам отдачи $R_p(E_p)$, измеренные

при $E_i \sim 2 \cdot 10^4$ В/см после 6 мес хранения, которые коррелируют с ранее измеренными спектрометрическими характеристиками по α -частицам в работе [2]. Полупроводниковые детекторы данной конструкции в настоящее время применяются в различных ядерно-физических экспериментах на ускорителях заряженных частиц, а также в исследованиях околоземного космического излучения. Они имеют не только стабильные, но и высокие эксплуатационные параметры. Например, обратный темновой ток ПБД не превышает $0,1$ мкА/см², потери энергии в мертвом слое входного, выходного окон по α -частицам энергией $5,5$ мэВ — не более 15 кэВ. Энергетическое разрешение по α -частицам указанной энергии не хуже 20 кэВ.



Р и с. 4. Динамическая вольт-амперная характеристика ПБД первого (1) и второго типа (2) до и после облучения тыльного контакта



Р и с. 5. Зависимость энергетического разрешения по протонам отдачи от энергии протонов ПБД первого (1—4) и второго типа (5—7)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муминов Р.А., Джураев У.Б., Раджапов С.А., Искандеров А.Ш. Пролетные детекторы из низкоомного Р—Si. — Атомная энергия, 1989, т. 67, вып. 2, с. 139—140.
2. Муминов Р.А., Джураев У.Б., Подъячев В.Н. и др. Влияние электронного облучения на физические параметры поверхностно-барьерных детекторов. — Известия АН УзССР. Сер. физ.-мат. наук, 1990, № 3, с. 59—63.
3. Муминов Р.А., Малаева В.Т., Букки С.М. и др. Дифференцированный способ контроля качества ППД. — В кн.: Сб. тез. док. 39 сов. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1989, с. 510.
4. Муминов Р.А., Малаева В.Т., Нурбаев К.М., Оксман М.М. Зарядовые свойства поверхности входного окна р-1-л-структур ДТН. — В кн.: Сб. тез. докл. 38 сов. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1988, с. 564.

Поступило в Редакцию 18.06.92