

5. Charapitsa S., Kulevich N., Sytova S., Yakuba Yu. Correct quantitative determination of ethanol and volatile compounds in alcohol products // Proc. of the Wine Active Compounds (WAC) Int. Conf., March, 26–28, 2014, Beaune, France. P. 373–375.
6. ISO/IEC 17025:2005 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (2005).

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЕМНИЕВЫХ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

**Д. В. Молчанов, С. Б. Ластовский**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Использование излучений высоких энергий на практике, развитие ядерной энергетики и космических исследований требуют создания полупроводниковых материалов и приборов, устойчивых к радиации, а также разработки физических основ радиационной технологии их изготовления.

К настоящему времени достигнуты значительные успехи в области как экспериментальных исследований, так и развития теоретических представлений о воздействии проникающих излучений на полупроводники и изделия на их основе. Разработаны методы прогнозирования и повышения радиационной стойкости полупроводниковых материалов и приборов, а в технологии изготовления последних все шире используются радиационные методы, ставшие, в некоторых случаях, неотъемлемой частью общего технологического процесса.

Биполярные транзисторы широко применяются в устройствах ЭВМ, авиа- и космической аппаратуры. Производство новых изделий электронной промышленностью Республики Беларусь требует детального изучения их радиационной стойкости.

Целью данной работы является исследование влияния электронного облучения на характеристики биполярных транзисторов.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

В качестве исследуемых образцов были взяты кремниевые биполярные эпитаксиально-планарные р-п-р усилительные транзисторы КТ3107А производства ОАО «Интеграл», предназначенные для использования в усилительных, генераторных, переключающих схемах, схемах бытовой видеотехники и другой радиоэлектронной аппаратуре.

Электронное облучение тестовых образцов проводится на линейном ускорителе ЭЛУ-4 (номинальная энергия электронов  $E_e = 4$  МэВ). Величина энергии электронов определяется по длине их пробега в меди с

точностью  $\pm 1,0\%$ . Плотность потока электронов составляет  $(5-10)\cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ , флюенс электронов  $\Phi_e = 5\cdot 10^{13} - 2\cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ .

Измерение параметров вольтамперных характеристик образцов проводилось на измерителе параметров полупроводниковых приборов ИППП-1/6. Данный прибор предназначен для измерения и автоматизации контроля электрических параметров полупроводниковых приборов, анализа их функциональных зависимостей и отображения на экране внешнего персонального компьютера ВАХ исследуемого объекта в виде графиков и таблиц, расчета на их основе стандартных параметров исследуемого объекта, формирования и заполнения отчета о полученных результатах.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Радиационная стойкость биполярных транзисторов характеризуется величиной коэффициента усиления по току  $\beta$ , который может получен на основании статических вольтамперных характеристик (входной, выходной и передаточной) биполярного транзистора.

Зависимость коэффициента усиления по току от тока коллектора при различных дозах облучения электронами представлена на рисунке.

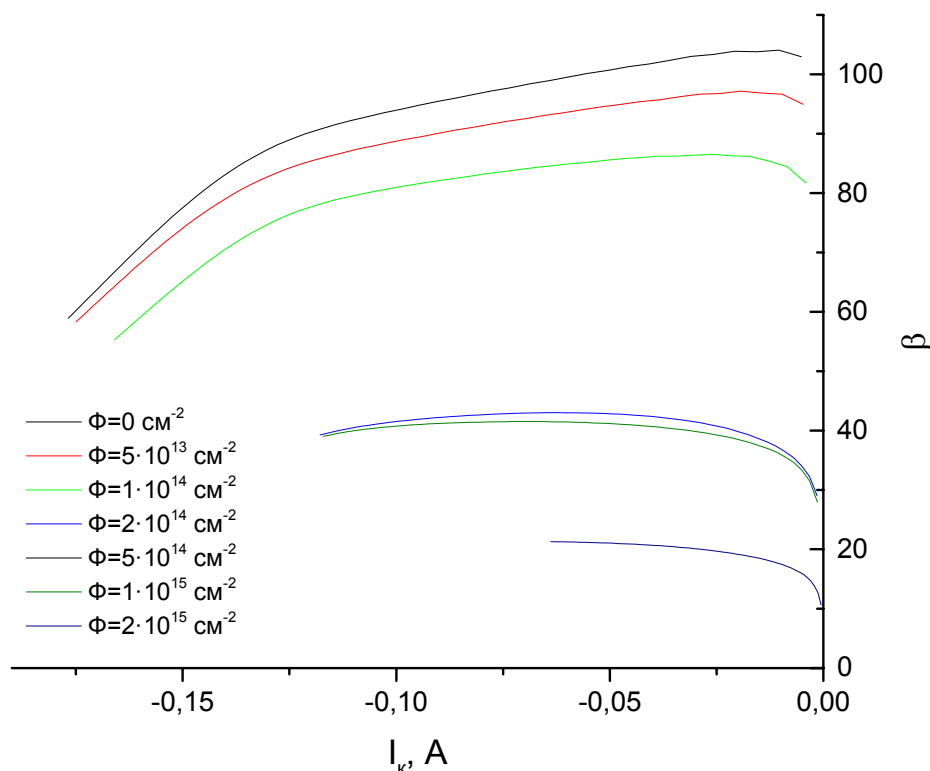


Рис. Зависимость коэффициента усиления от тока коллектора ( $U_{кэ} = -2 \text{ В}$ ) после облучения быстрыми электронами при различных значениях доз облучения

С ростом дозы электронного облучения становится заметно резкое уменьшение значения  $\beta$ . При этом характер зависимостей  $\beta(I_K)$  остается неизменным, а именно, с ростом коллекторного тока коэффициент усиления вначале увеличивается, а затем, достигнув максимального значения, убывает.

Исходя из рисунка, заметен рост деградации коэффициента усиления с увеличением дозы облучения. Так, если при  $\Phi = 1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$  значение  $\beta = 80$ , то при  $\Phi = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} - 40$ , что уже не соответствует техническим условиям на параметры данного типа транзисторов.

Следовательно, с увеличением дозы облучения быстрыми электронами происходит значительное уменьшение коэффициента усиления исследуемых биполярных транзисторов. При дозе  $\Phi = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$  абсолютное значение  $\beta < 70$  выходит за нормы.

При облучении исследуемых транзисторов электронами в их объеме генерируются первичные радиационные дефекты: вакансии и междоузлия. Последние, в силу своей высокой подвижности, мигрируют по кристаллу и взаимодействуют с различного рода структурными нарушениями решетки и примесями, образуя вторичные радиационные дефекты. Вторичные радиационные дефекты дают в запрещенной зоне кремния глубокие уровни, и выступают для непрямозонного кремния эффективными центрами рекомбинации неосновных носителей заряда. При этом определяющую роль рекомбинационные процессы играют в n-базе транзисторов, куда инжектируются в рабочем режиме неосновные носители заряда – дырки. Объемная и поверхностная рекомбинация дырок в n-базе ведет к уменьшению времени жизни и, следовательно, диффузионной длины неосновных носителей заряда. Результатом этого является уменьшение коллекторного тока и коэффициента усиления  $\beta$ . Поскольку концентрация радиационных дефектов пропорциональна дозе электронного облучения, то с ростом  $\Phi$  коэффициент  $\beta$  все время уменьшается, что и наблюдается в эксперименте.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате измерения входных, передаточных и выходных характеристик транзисторов до и после облучения электронами показано, что значение основного параметра исходных транзисторов – статического коэффициента усиления по току  $\beta = 70 \div 102$ , что согласуется с нормами технических условий завода-изготовителя.

На основе проведенных исследований установлено, что после облучения наиболее заметно деградируют передаточные и выходные характеристики транзисторов из-за уменьшения значения коэффициента  $\beta$ .

Показано, что при дозе  $\Phi = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$  абсолютное значение  $\beta < 70$  выходит за нормы технических условий для всех исследуемых транзисторов.

#### Литература

1. *Ермаков С. Ф., Минин В. Е., Гаврилов Г. С.* Биполярные транзисторы. Гомель. 2008. 72 с.
2. *Тогатов В. В.* Биполярные транзисторы. Санкт-Петербург. 2004. 43 с.
3. Измеритель параметров полупроводниковых приборов ИППП-1\6, руководство по эксплуатации, УШЯИ.411251.003 РЭ. 40 с.
4. *Вавилов В. С., Киселев В. Ф., Мукашев Б. Н.* Дефекты в кремнии и на его поверхности. М. 1990. 216 с.
5. *Коршунов Ф. П., Гатальский Г. В., Иванов Г. М.* Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах. Мн. Наука и техника. 1978 г. 231 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ ДЛЯ АЭС И КОНТРОЛЬ ЕЕ КАЧЕСТВА МЕТОДОМ ИОННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Е. С. Орлова

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одним из наиболее распространенных типов реакторов являются реакторы ВВЭР, в которых от качества воды как основной технологической среды во многом зависит безопасность работы атомной электростанции. Природная вода из поверхностных или подземных источников не может быть непосредственно использована для целей энергетики. Основной причиной является высокое содержание в ней ионов, которые при попадании в технологический контур АЭС приводят к сильному снижению срока эксплуатации оборудования, увеличению частоты и сроков проводимого ремонта, увеличению вероятности аварийных ситуаций, возрастанию экономических затрат, что в конечном счете может сделать вырабатываемую энергию в разы дороже. Вследствие этого необходима очистка природной воды с целью получения химически обессоленной воды, соответствующей необходимым нормам и требованиям [1]. При этом выбор и разработка схем очистки во многом зависит от данных, полученных при проведении химико-аналитического контроля воды.

С целью оценки химического состава воды применяется большое количество методов анализа, включая титриметрический, потенциометрический, кондуктометрический, турбидиметрический, методы атомно-адсорбционной и атомно-эмиссионной спектrophотометрии и др. [2].