



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Московский технологический университет"

МИРЭА

Филиал МИРЭА в г. Фрязино

Кафедра №143 «Конструирование СВЧ и цифровых
радиоэлектронных средств»

ПРИНЯТО
на заседании кафедры №143
(протокол № 2
От «23» октября 2015 г.)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ (_____)
«__» _____ 2015 г.

В.И. ШАПОВАЛОВ

**УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ К
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

Методические рекомендации для практических занятий
для студентов направления подготовки 11.03.03 «Конструирование и
технология электронных средств»

Практическое занятие №1.

Ионизирующее излучение (И.И.).

Ионизирующее излучение – самый мощный фактор воздействия на электронную аппаратуру и человека.

Ионизирующее излучение – излучение, воздействие которого сопровождается образованием электрических зарядов разных знаков. Разновидности ионизирующего излучения приведены ниже (см. рис.18).

Ионизирующее излучение, воздействуя на среду, может вызвать так называемое вторичное излучение. Итак, излучение может быть первичным и вторичным. Наиболее мольными, обладающими наибольшими проникающими способностью, мало поглощающимися являются гамма – излучения и нейтронное излучение.

Радиоактивность – самопроизвольный распад атомов химических элементов, в результате которых выбрасываются α, β - частицы и γ - излучение.

Космическое (галактическое) излучения и излучения Солнца в наземных условиях эффект воздействия небольшой.

Для искусственных источников присущи относительно небольшой эффект и разнообразие воздействующих факторов (например при взрыве атомной бомбы).

- Ударная волна
- Импульс светового излучения
- Все виды излучений

Ниже приводятся виды воздействий ионизирующего излучения.

Эффекты, обуславливаемый ионизирующим излучением (см. рис.19)

1. Ионизационный эффект – ионизация и возбуждение атомов вещества.
2. Радиационный эффект – изменение значений параметров под воздействием ионизирующего излучения.
3. Радиационный дефект – радиационный эффект, проявляющийся в нарушении структуры вещества под воздействием ионизирующего излучения. Радиационный дефект бывает двух видов:
 - а) Обратимый радиационный дефект – радиационный дефект в

веществе, исчезающий с прекращением ионизирующего излучения.

б) Необратимый радиационный дефект – радиационный дефект длительно сохраняющийся после прекращения ионизирующего излучения или не исчезающий. Радиационный разогрев – радиационный дефект, проявляющийся в повышении температуры

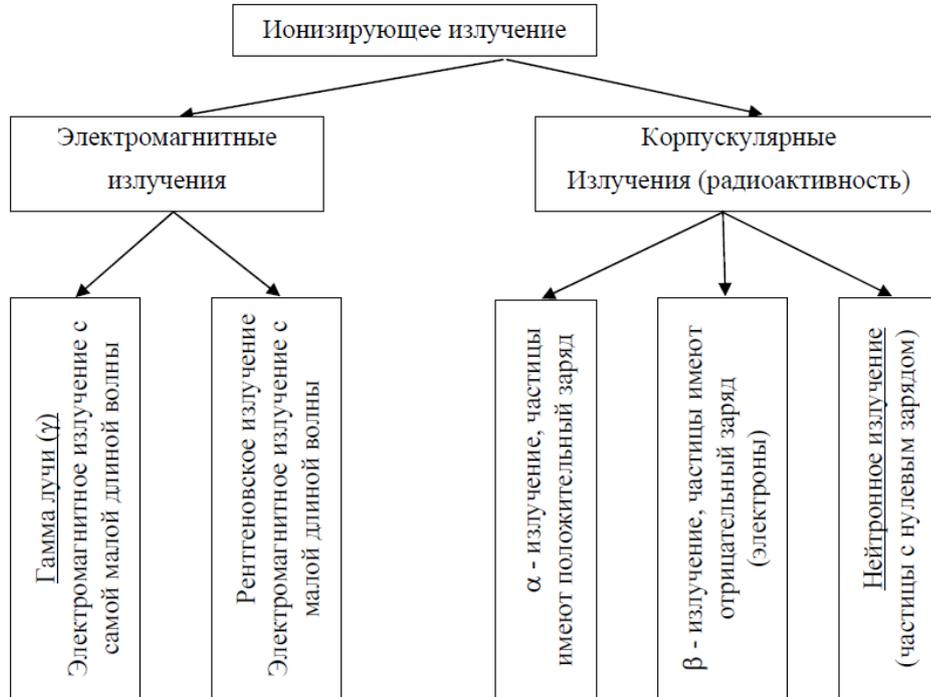


Рис. 18

Практическое занятие №2.

Основные количественные характеристики ионизирующих излучений.

- 1) Интенсивность излучения измеряется в $\text{Вт}/\text{м}^2$ и соответствует количеству энергии перенесенной за 1 сек., через поверхность площадью 1м^2 , расположенную перпендикулярно направлению распространения излучения [$\text{Э (Дж)}/\text{м}^2/\text{сек.}$]
- 2) Интенсивность потока частиц характеризуется суммарным количеством частиц, проходящих за 1 сек., через поверхность площадью 1м^2 расположенную перпендикулярно направлению распространения частиц ($\text{К}/\text{м}^2/\text{см.}$).
- 3) Величина воздействия ионизирующего излучения на аппаратуру характеризуется дозой излучения, поглощенной аппаратурой и вычисляется как отношение количества поглощенной энергии к массе (в килограммах) аппаратуры (при этом энергия частично отражается частично поглощается).

Основные характеристики стойкости аппаратуры к ионизирующим излучениям (И.И.). Радиационная стойкость – свойство аппаратуры, отдельных элементов материалов и

т.п. выполнять свои функции и сохранять значения параметров в пределах установленных норм во время действия (И.И.). Количественной оценкой радиационной стойкости является критерий радиационной стойкости

Критерий радиационной стойкости – предельное численное значение определяющего параметра радиационной стойкости.

Определяющий параметр – параметр, изменение значения которого при воздействии И.И. свыше некоторого определенного значения исключает возможность применения по назначению. Определяющие параметры свой для каждого типа изделия: уровень шумов, проводимость, ток утечки.

Практическое занятие №3.

Влияние ионизирующих излучений на электронную элементную базу.

Влияние на резисторы осуществляется в виде:

- 1) Происходят обратимые и необратимые изменения значения сопротивления
- 2) Увеличивается уровень шумов резисторов
- 3) Ухудшается влагостойкость резисторов

Основная причина влияния ионизирующих излучений – резкое увеличение проводимости из-за ионизационных эффектов в материалах (резкое увеличение проводимости в среде окружающего резистор и материалах).

Практическое занятие №4.

Приемы снижения эффективности воздействия И.И.

- 1) Применять резисторы с номиналом не более 10 кОм.
- 2) Высокоомные резисторы защищать заливкой либо опрессовкой эпоксидной смолой. Увеличение толщины защитного слоя в 10 раз позволяет снизить нестабильность резистора в 6-8 раз.
- 3) Применять резисторы как можно меньших размеров.

Влияние на конденсаторы.

Влияние на И.И. осуществляется в виде:

- 1) Изменение параметров электрической прочности (рабочее напряжение, ТКЕ – температурный коэффициент).
- 2) Изменение сопротивления изоляции, определяющие ток утечки.
- 3) Изменение диэлектрических потерь (дополняющий угол сдвига фаз между векторами тока и напряжения) он определяет активную мощность выделяемую в конденсаторе.

Основные причины изменения параметров конденсатора.

Изменения в структуре диэлектрика, механическая деформация, ионизация диэлектрика и окружающей среды.

Гамма излучение и рентгеновское излучение вызывает обратимые радиационные дефекты.

Нейтронное излучение вызывает как обратимые так и необратимые радиационные дефекты.

Наибольшей стойкостью к И.И. обладают конденсаторы с неорганическим диэлектриком: керамикой, стекло эмалью, слюдой.
Изменение параметров при облучении нейтронами не превышает долей или единиц процентов. Меньше чем через два часа после окончания облучения параметры восстанавливаются для исходного значения. Плохой устойчивостью к И.И. обладают конденсаторы с органическим диэлектриком (бумага, полистирол, лавсан, ортопласт). При облучении сопротивление изоляции падает в 10-20 раз, увеличивается $\tan\delta$, номинал ёмкости изменяется на единицы и десятки процентов

Электролитические конденсаторы при облучении претерпевают

зачастую разгерметизацию из-за разложения электролита.

Из интегральных тонкоплёночных конденсаторов наиболее устойчивы к И.И. конденсаторы с диэлектриком на танталовой основе (Al_2O_3).

Воздействие И.И. на полупроводниковые приборы.

Полупроводниковые приборы, особенно низкочастотные транзисторы, являются, как правило, слабым местом электронной аппаратуры по отношению к И.И. В связи с этим оценка нижнего уровня радиационной стойкости аппаратуры определяется именно этим слабым местом. В особо ответственных случаях, когда обеспечение особо высокой стойкости аппаратуры к И.И. следует заменять полупроводниковые приборы элементами, имеющими более высокую радиационную стойкость, например, магнитные элементы, электронные лампы и т.п. Конечно, при этом аппаратура, возможно, будет иметь другие эксплуатационные и технические характеристики.

Транзисторы Основные явления, наблюдаемые при облучении И.И.

Деградация коэффициентов передачи по току и как следствие изменение вольтамперных характеристик, обусловленных возникновением деградации в полупроводниковом материале.

Биполярные транзисторы.

- 1) Обратимое возрастание токов $I_{к0}$ из-за ионизационных эффектов
- 2) Возрастание тока базы и снижение коэффициента усиления по току

Наиболее устойчивыми к И.И. являются:

Высокочастотные транзисторы.

-большие трудности возникают с мощными транзисторами имеющими, как правило, невысокую радиационную стойкость.

Необходимо уменьшить коэффициент в отдельных каскадах вводя дополнительные каскады усиления, ввести в усилительные каскады обратную связь, повышая напряжение смещения с целью уменьшения чувствительности к увеличению токов утечки.

Униполярные транзисторы.

Транзисторы данного типа имеют гораздо меньшую радиационную стойкость чем биполярные транзисторы. Наиболее чувствительны к

И.И.транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы).

Два вида воздействия на полупроводниковые приборы.

- 1) Ионизирующее действие – оно приводит к возникновению в объёме полупроводника избыточных зарядов, которые, двигаясь под действием градиентов концентрации электрических полей, создают фототоки. После окончания облучения фототоки пропадают, т.е. наблюдаются обратимые дефекты. Фототок – упорядоченное движение фотоэлектронов. Фотоэлектроны электроны, вылетающие из вещества при фотоэффекте.
- 2) Структурные нарушения, обусловленные взаимодействием И.И. с кристаллической решёткой полупроводника. Даже самые незначительные изменения (нарушения) кристаллической решётки вызывает значительные изменения параметров полупроводников, т.е. наблюдаются необратимые радиационные дефекты.

Полупроводниковые диоды.

Основные искажения:

- 1) Появление фототоков на один-два порядка больше рабочих токов.
- 2) Изменение сопротивления диода.

Германиевые диоды.

- 1) Нейтронное излучение вызывает измененные проводимости диодов. При этом в прямом направлении проводимость уменьшается, в обратном увеличивается
- 2) Фотонное излучение вызывает возникновение фототоков, возрастание обратного тока, уменьшение ёмкости р-п перехода. Через несколько дней после прекращения облучения параметры диодов восстанавливаются.

Кремниевые диоды.

Нейтронное излучение.

- а) Точечно-контактные типы диодов - уменьшается проводимость в прямом и обратном направлении
- б) Плоскостные диоды - проводимость в прямом направлении

уменьшается, в обратном направлении с увеличением И.И. в начале растёт, потом падает.

Сильное нейтронное излучение приводит к прекращению работы диодов. Гамма излучение вызывает обратимые изменения вольтамперных характеристик. Туннельные диоды.

Заметное изменение вольтамперных характеристик наблюдается при очень сильном нейтронном излучении. Туннельные диоды устойчивы к ионизирующим эффектам.

Интегральные диоды.

Более устойчивы к И.И. особенно высокочастотные диоды.

Интегральные схемы.

Действие И.И. проявляется в обратимых и необратимых изменениях параметров входящих в интегральные микросхемы элементов (резисторов, конденсаторов, транзисторов). Наиболее устойчивы к воздействию И.И. интегральные схемы на основе керамических элементов (керамические твёрдые схемы).

В связи с тем, что логические схемы, как правило менее чувствительны к изменениям коэффициента усиления транзистора по току и к изменению токов утечки переходов, чем линейные схемы, логические интегральные схемы, как правило, имеют большую радиационную стойкость.

Практическое занятие №5.

Способы защиты от ионизирующего излучения.

Основные способы защиты аппаратуры от И.И. сводятся к экранированию. Для защиты от α и β излучений относительно тонкие металлические (стальные, алюминиевые, медные и др.) экраны снижают эффективность излучения на порядок. Например, стальной экран толщиной 1,5мм снижает эффективность α и β излучения более чем в 10 раз. Для защиты от гамма и нейтронного облучения тонкие металлические экраны негодны (например, стальной экран толщиной в 15см снижает эффективность не более чем на порядок). Для защиты от этих излучений применяются массивные свинцовые, свинцово-графитные, свинцово-полиэтиленовые.

Воздействие солнечной радиации.

Основные составляющие воздействия:

- 1) Видимый свет;
- 2) Ультрафиолетовое излучение;
- 3) Инфракрасное излучение (тепло).

Видимый свет:

- химическое разложение некоторых видов пластмасс (например, хлориды);
- образование озона (окисляющее химическое воздействие).

Ультрафиолет:

- частичное разложение полимеров, содержащих хлор (полихлорвиниловая изоляция);
- ускоряет (является катализатором) реакции окисления полиэтилена, полистирола.

Инфракрасное излучение:

- увеличение температуры.