

Моделирование мощного кремниевого биполярного транзистора с изолирующей канавкой в области пассивной базы между р⁺ базовым контактом и эмиттером

Поярков В. Н.¹, Кшенский О.Н.¹, Шкарлат Р. С.¹, Турин В. О.², Шадрин И. Ф.²

¹ ОАО «БЗПП», г. Болхов, oao**bzpp**@mail.ru

² Госуниверситет-УНПК, voturin@ostu.ru

Введение

Повышение радиационной стойкости ключевых элементов на основе мощных биполярных транзисторов (БТ) является важной задачей, связанной с повышением надежности систем управления устройств автоматики для атомной промышленности. В данной работе моделировались электрические характеристики мощного биполярного транзистора - основного элемента интегральной микросхемы серии 286ЕП. Были разработаны геометрическая и физическая модели БТ для приборно-технологического моделирования. При моделировании влияние дозы радиации учитывалось за счет соответствующего уменьшения времени жизни электронов и дырок. Результаты моделирования позволяют сформировать картину деградации статического коэффициента усиления БТ с увеличением дозы облучения и качественно совпадают с результатами испытаний на имитационных установках. Анализ распределения базового тока в сечении прибора показал наличие составляющей базового тока протекающего из базового контакта в боковую область эмиттера вдоль высокоомной области пассивной базы. Предложено ввести в конструкцию прибора дополнительную изолирующую область между базовым и эмиттерным контактами, для максимальной инжекции базового тока в область активной базы. Моделирование показывает увеличение статического коэффициента усиления приблизительно на 40% в этом случае. Т. к. размер области изоляции меньше длины высокоомного участка между базовым контактом и эмиттером, появляется возможность увеличить длину эмиттера приблизительно на 30%, без изменения размера транзисторной ячейки. При этом, как показывает моделирование, заметно уменьшается деградация коэффициента усиления, связанная с эффектами высокой инжекции. Так, в структуре с изолирующей областью и с удлинённым эмиттером коэффициент усиления при высоких плотностях коллекторного тока на 10% выше чем в структуре только с изолирующей областью. Предложенные изменения в конструкции прибора, за счет общего улучшения его характеристик, существенно уменьшают деградацию статического коэффициента усиления из-за радиационного воздействия. Результаты моделирования для меньших, из-за воздействия радиации, значений времени жизни носителей показывают соответствующее уменьшение статического коэффициента усиления с относительной стабилизацией его значения при эффектах высокой инжекции.

Биполярный транзистор без изолирующей канавки (1)

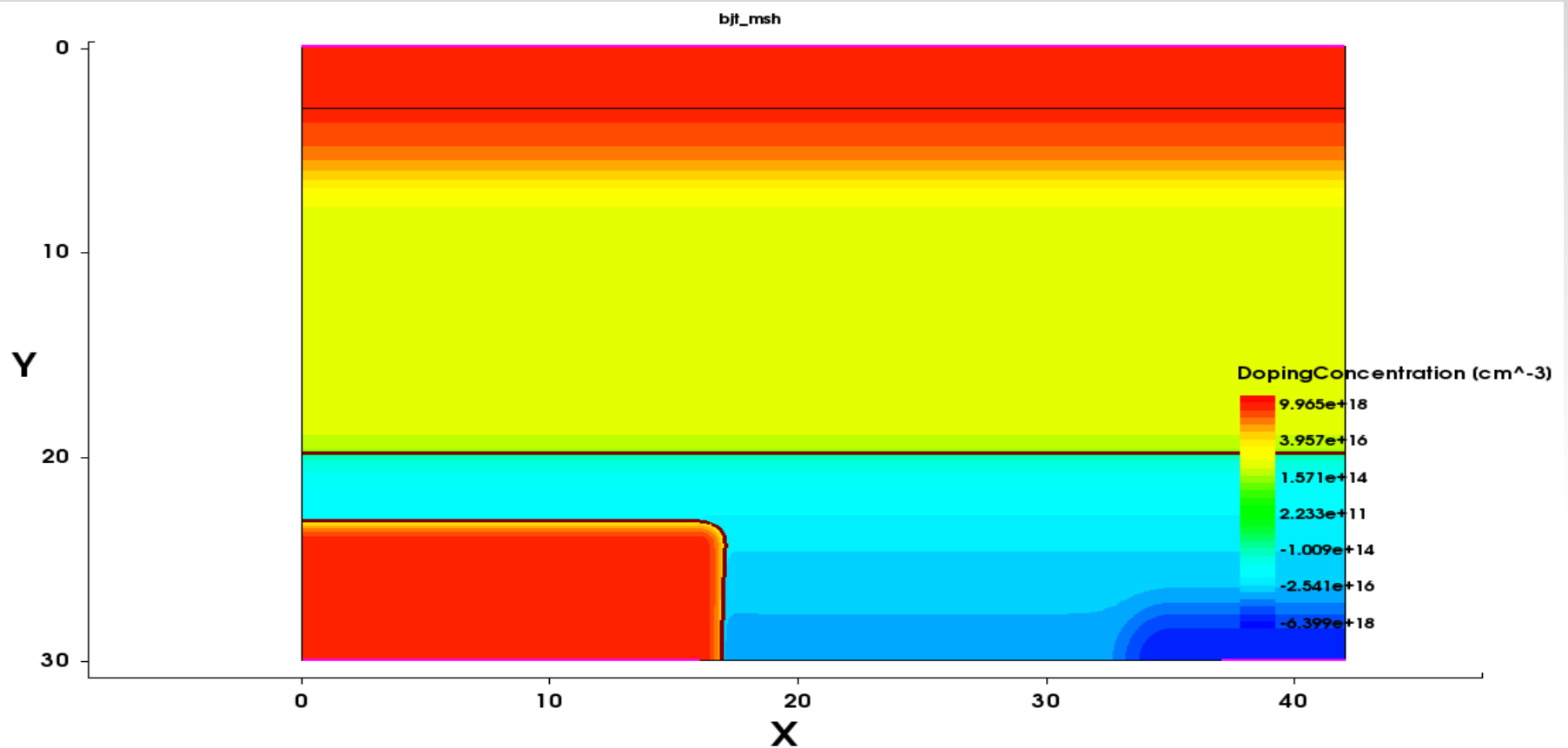


Рис. 1. Распределение легирующей примеси в половине ячейки биполярного транзистора. При расчетах поперечный размер структуры полагался 1 мкм. Реальный эффективный поперечный размер ячейки 125 мкм. Всего 390 ячеек. Соответственно, токи на графиках надо умножить на $125 \times 790 = 98750$ для получения токов транзистора.

Биполярный транзистор без изолирующей канавки (2)

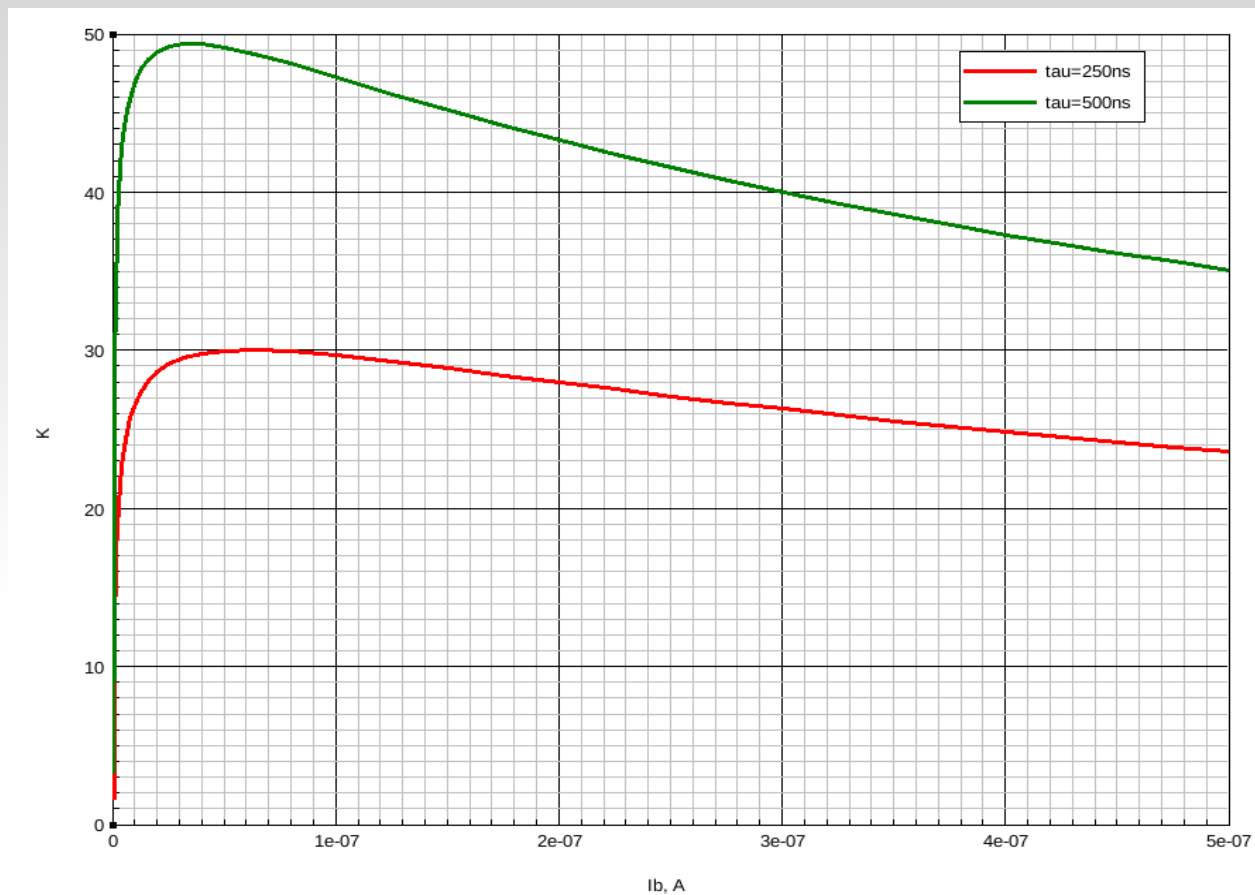


Рис. 2. Зависимость статического коэффициента усиления от тока базы при разных временах жизни электронов в базе

Биполярный транзистор без изолирующей канавки (3)

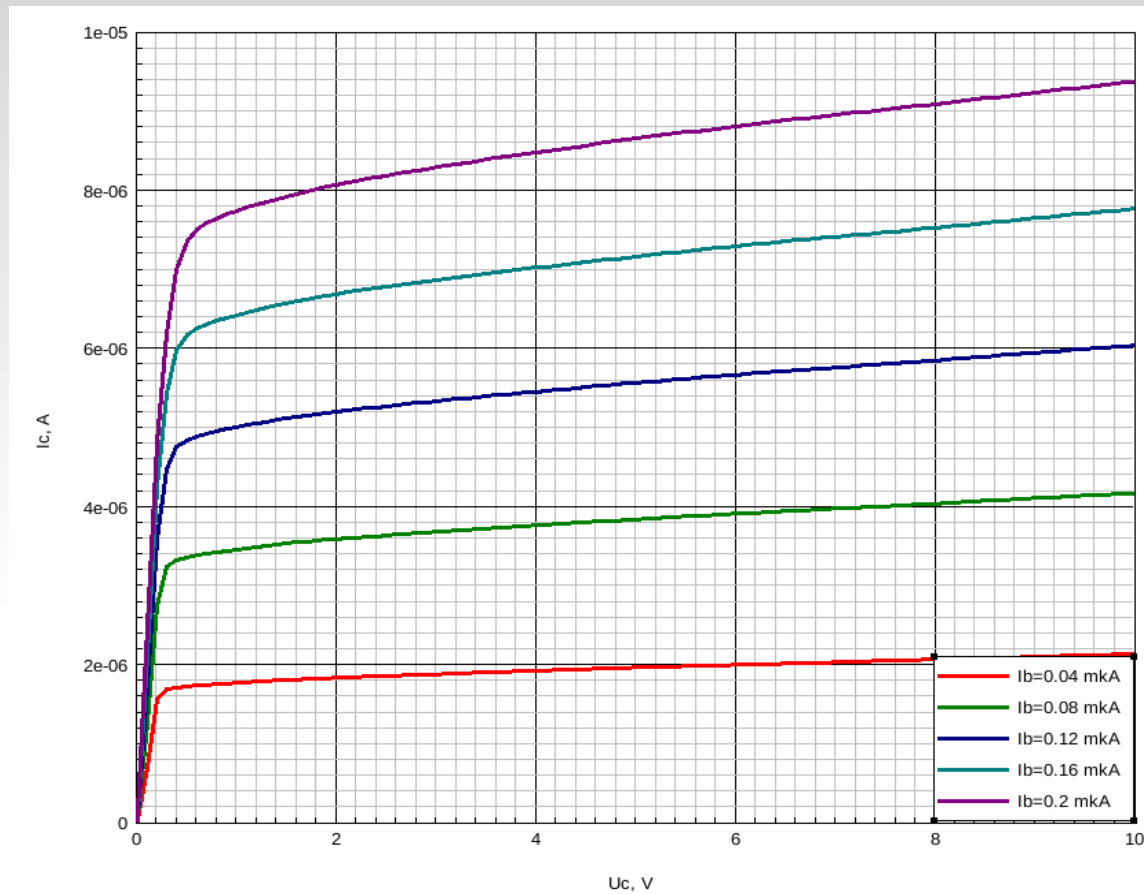


Рис. 3. Выходные характеристики для разных токов базы

Биполярный транзистор с изолирующей канавкой (1)

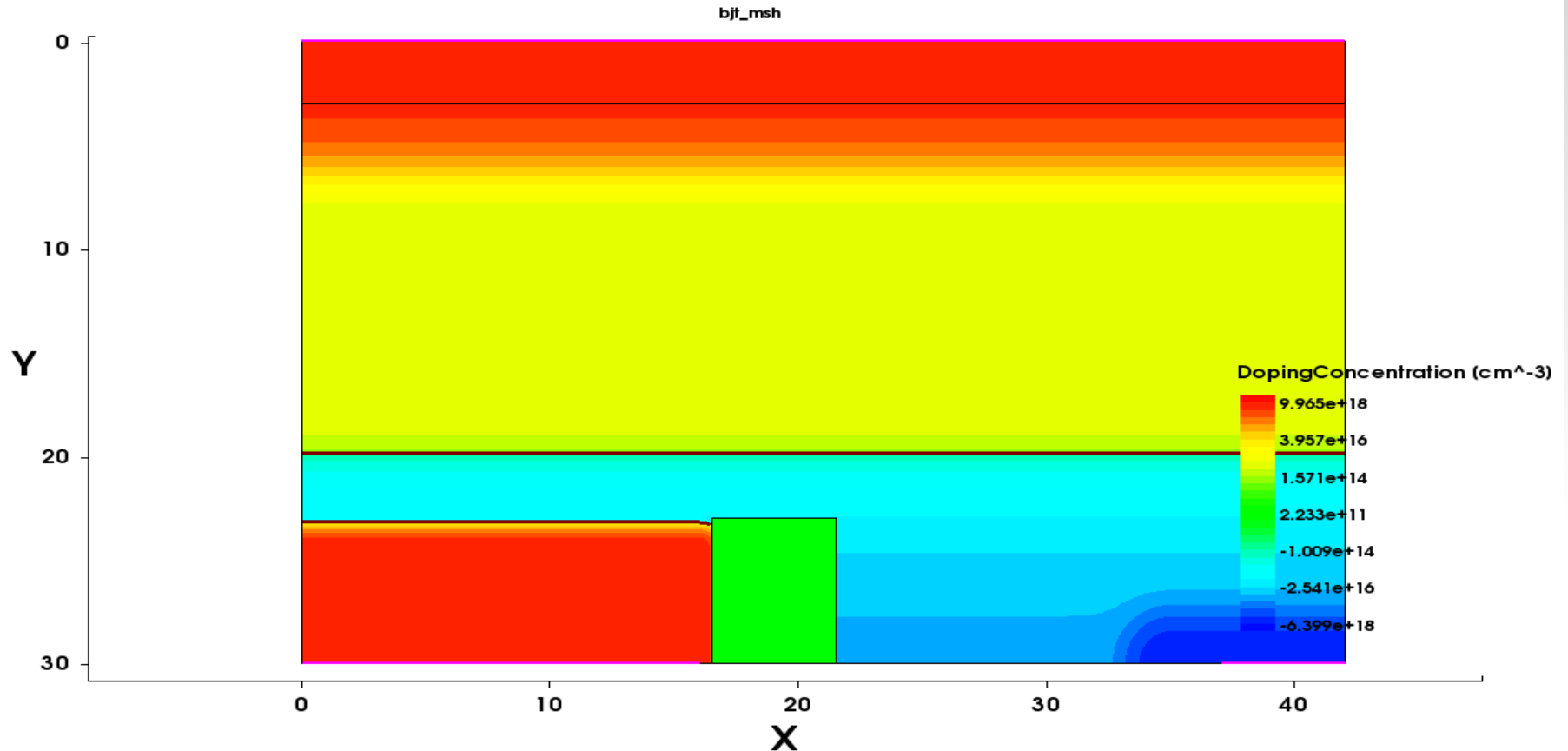


Рис. 4. Распределение легирующей примеси в половине ячейки биполярного транзистора. При расчетах поперечный размер структуры полагался 1 мкм. Реальный эффективный поперечный размер ячейки 125 мкм. Всего 390 ячеек. Соответственно, токи на графиках надо умножать на $125 \times 790 = 98750$ для получения токов транзистора.

Биполярный транзистор с изолирующей канавкой (2)

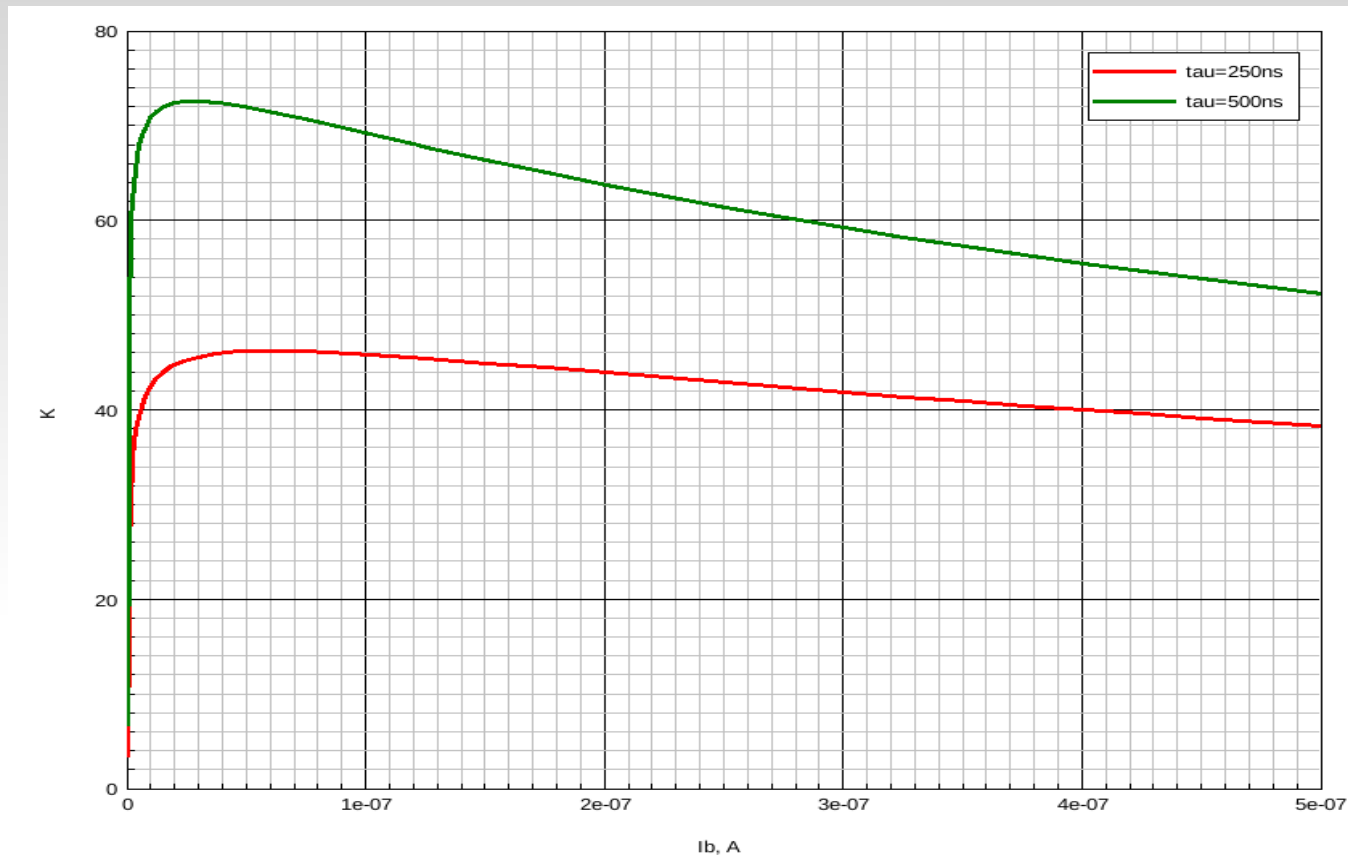


Рис. 5. Зависимость статического коэффициента усиления от тока базы при разных временах жизни электронов в базе

Биполярный транзистор с изолирующей канавкой (3)

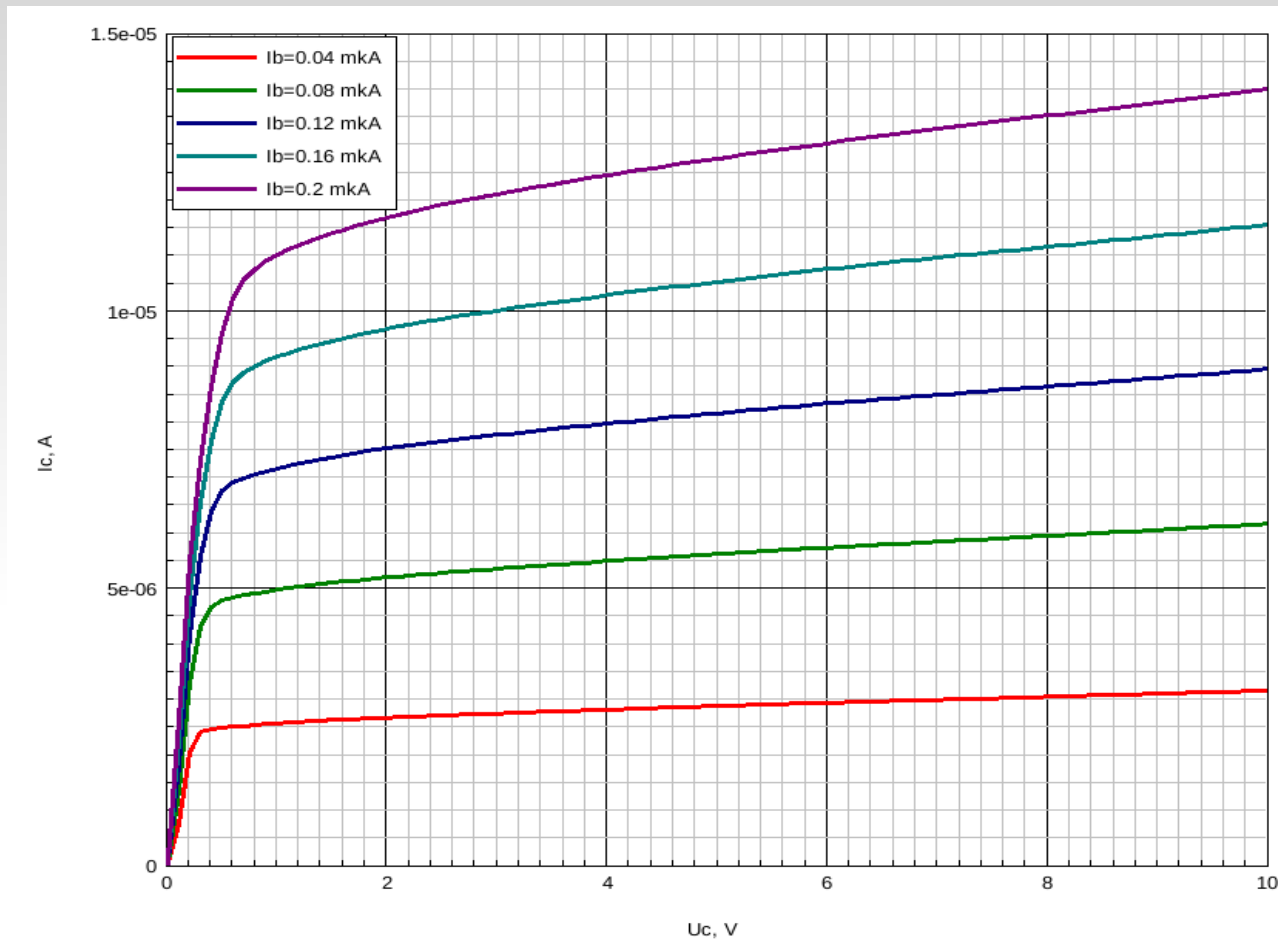


Рис. 6. Выходные характеристики для разных токов базы

Биполярный транзистор с изолирующей канавкой и удлинённым эмиттером (1)

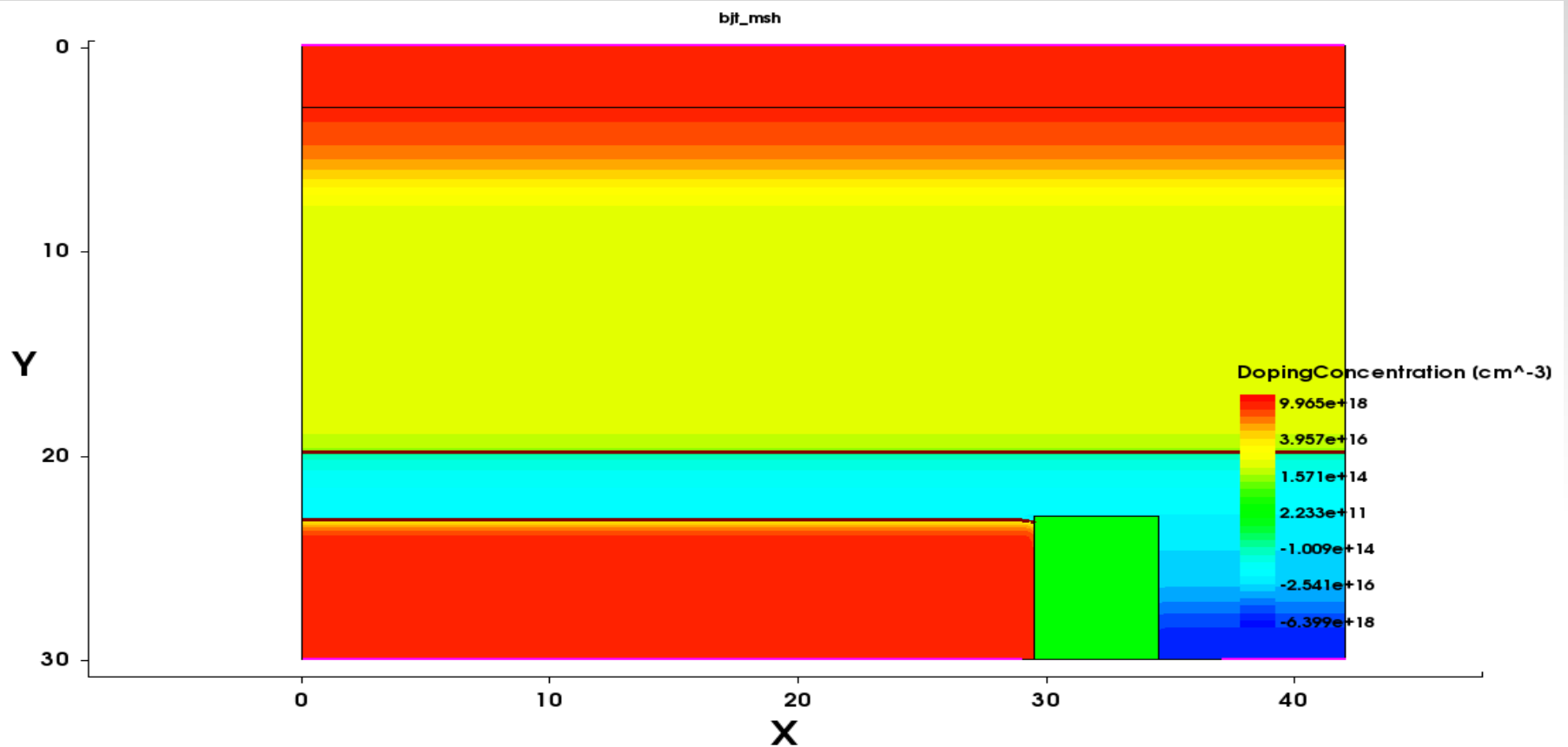


Рис. 7. Распределение легирующей примеси в половине ячейки биполярного транзистора. При расчетах поперечный размер структуры полагался 1 мкм. Реальный эффективный поперечный размер ячейки 125 мкм. Всего 390 ячеек. Соответственно, токи на графиках надо умножать на $125 \times 790 = 98750$ для получения токов транзистора.

Биполярный транзистор с изолирующей канавкой и с удлинённым эмиттером (2)

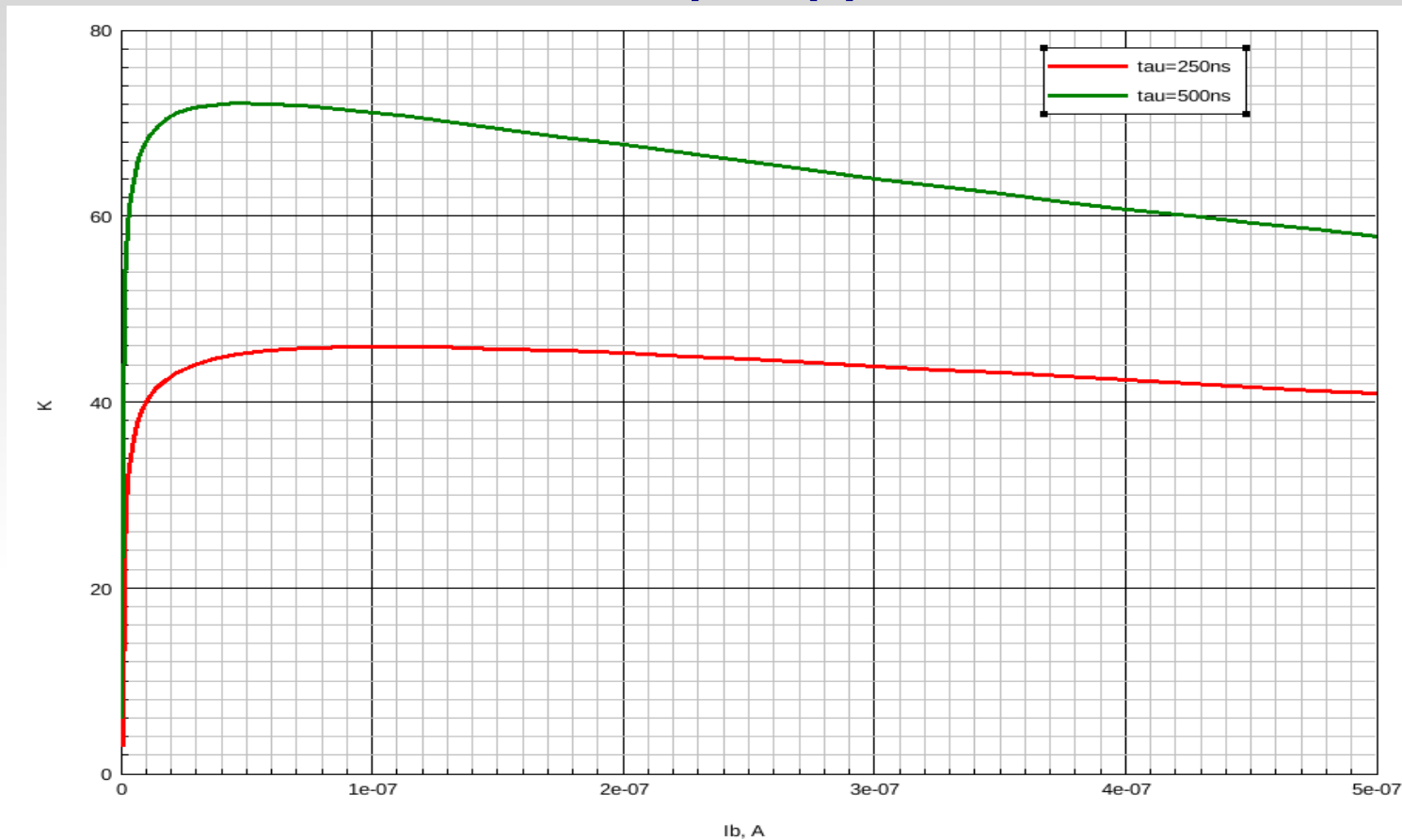


Рис. 8. Зависимость статического коэффициента усиления от тока базы при разных временах жизни электронов в базе

Биполярный транзистор с изолирующей канавкой и удлинённым эмиттером (3)

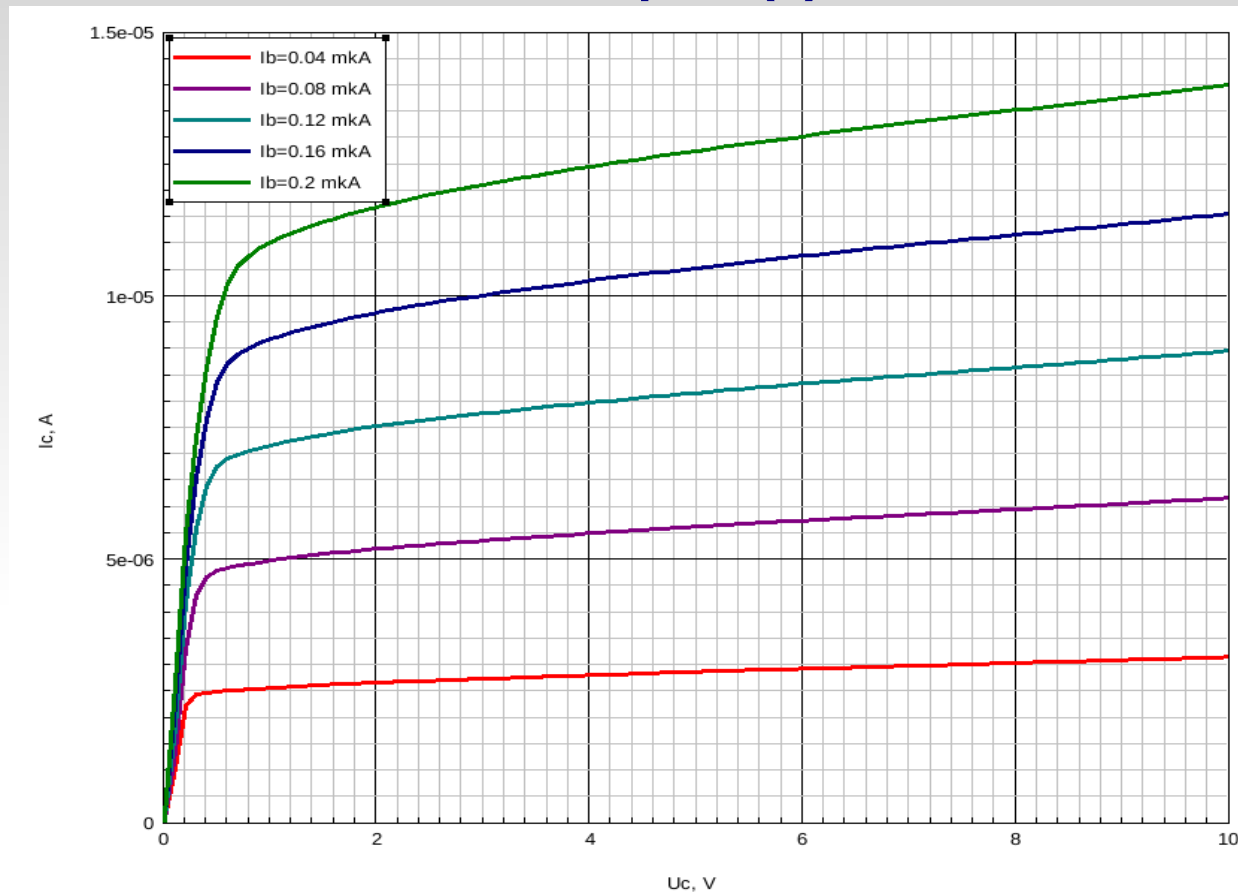


Рис. 9. Выходные характеристики для разных токов базы

Выводы

- Разработаны геометрическая и физическая модели мощного БТ для приборно-технологического моделирования
- Моделирование показывает, что введение изолирующей области между базовым и эмиттерным контактами приводит к существенному увеличению статического коэффициента усиления (приблизительно на 40%)
- Малый размер изолирующей вставки позволяет существенно увеличить длину эмиттера (приблизительно на 30%), без изменения размера транзисторной ячейки. Моделирование показывает, что при этом максимальное значение статического коэффициента усиления практически не меняется, а его деградация из-за эффектов высокой инжекции заметно уменьшается
- Предложенные изменения в конструкции прибора, за счет общего улучшения его характеристик, существенно уменьшают деградацию статического коэффициента усиления из-за радиационного воздействия
- Результаты моделирования для меньших, из-за воздействия радиации, значений времени жизни носителей показывают соответствующее уменьшение статического коэффициента усиления с относительной стабилизацией его значения при эффектах высокой инжекции

Благодарности

Работа, частично, была поддержана по НИР 16.1117.2014/К в рамках проектной части госзадания Госуниверситету - УНПК и, частично, в рамках внутреннего гранта Госуниверситета - УНПК ВК-33-2013

Литература

1. Поярков В.Н., Кшенский О.Н., Турин В.О. Моделирование мощных биполярных транзисторов после облучения быстрыми нейтронами в САПР SYNOPSIS TCAD – Системные проблемы надёжности, качества, математического моделирования и инфотелекоммуникационных технологий в инновационных проектах. Коллективная монография под отв. редакцией д.т.н., проф. НИУ ВШЭ Кофанова Ю.Н., М., 2014, с.68-80.
2. И.М.Викулин, В.И.Стафеев. Физика полупроводниковых приборов – М., Радио и связь, 1990.
3. В.Д.Попов. Радиационные эффекты в интегральных микросхемах. – Уч. пособие, М., МИФИ.
4. К.И. Таперо, В.Н. Улимов, А.М. Членов. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения – М., БИНОМ, 2012