

1. Титульный лист

- **Производство новых полупроводниковых приборов (новых компонентов электронных схем).**

Фамилия, имя, отчество руководителя проекта, постоянное место работы, должность, научное звание, номер телефона,

- **Иоффе Валерий Моисеевич, частное лицо, тел 3832-541329, Т/факс 3832-481491.**

Почтовый адрес

- **630064, г.Новосибирск, ул. Новогодняя, д. 16, кв. 16**

Адрес электронной почты: alkornsk@mail.ru,

страницы в Интернете: www.v-ioffe.ru

2. Аннотация.

По аналогии с транзисторами, выходное сопротивление которых регулируется источником сигнала, размещенным во входной цепи, предлагается трансформатор емкости - прибор, величина выходной емкости которого регулируется сигналом, поданным на входную емкость. В отличие от варикапа (варактора), являющегося двухполюсником, управляемая емкость является прибором с тремя выводами. И сфера применения управляемых емкостей по-видимому будет превосходить сферу применения варикапов не меньше, чем сфера применения транзисторов превосходит сферу применения диодов. В частности, управляемые емкости позволяют осуществлять усиление, частотное преобразование сигналов и многократно превосходят транзисторы и другие полупроводниковые приборами по уровню передаваемых мощностей. Дело в том, что у них температурные ограничения снижены (емкость не нагревается) и отсутствует электронное ограничение по мощности, связанное с пробоем полупроводниковых структур (приводящее к квадратичному падению мощности п.п. приборов с частотой). Применение управляемых емкостей снизит стоимость большого числа электронных устройств, вследствие замены ими электровакуумных элементов. Например, стоимость перестраиваемого генератора мощностью порядка 200 Вт на ЛБВ на частоте 5 - 7 ГГц - порядка 10000 \$, планируемая себестоимость такого же устройства на управляемой емкости меньше, как минимум, в 100 раз

В настоящее время имеются гетеропереходные транзисторы, работающие на частотах в сотни ГГц. Вследствие электронного ограничения, мощность их невелика (10^{-2} - 10^{-3} Вт). Электронное ограничение по мощности принципиально не позволяет существенно увеличить мощность транзисторов (как и других полупроводниковых приборов) на больших частотах при любом их совершенствовании, что сужает применение полупроводниковых приборов в СВЧ области. Например, не дает возможности непосредственно использовать их в приеме - передающих устройствах в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне длин волн, в частности в сотовых или спутниковых устройствах связи. В комбинации гетеропереходного транзистора с управляемой емкостью несложно изготовить миниатюрное полупроводниковое приемо-передающее устройство мощностью единицы Вт на рабочих частотах в сотни ГГц. Перевод устройств связи и интернета с единиц на сотни ГГц позволил бы на порядки увеличить число одновременно работающих каналов связи и в сотни раз больше позволил бы за одно и тоже время увеличить объем передаваемой информации. Это позволило бы создать новое поколение широкополосной связи. По мнению журнала «Электроника: Наука, Технология, Бизнес» прибор может стать в ближайшем времени столь же известным и доступным как, например, транзистор. Управляемые емкости могут быть использованы в качестве трансформаторов напряжения, легко реализуемых в интегральном исполнении в среднечастотной, высокочастотной и СВЧ области. Индуктивные трансформаторы плохо стыкуются с планарной технологией производства полупроводниковых приборов. Применение трансформаторов на управляемых емкостях вместо индуктивных позволит снизить себестоимость электронной продукции. Имеются и оформляются российские и зарубежные патенты. Изготовлены экспериментальные образцы. Производство можно осуществлять на любом предприятии по производству полупроводниковых приборов. Информация о приборе - на вышеупомянутом сайте. Предложенный способ изменения эффективной площади электродов у полупроводниковых приборов позволяет создать принципиально новые варикапы, линии передачи с управляемыми напряжением волновым сопротивлением и длиной, транзисторы. Новые варикапы (в отличие от существующих) имеют наперед заданный любой вид C/V характеристики и

практически неограниченный коэффициент перестройки по емкости. Транзисторы, в отличие от существующих, легко изготавливаются с линейной передаточной характеристикой. На линейных варикапах и управляемых емкостях могут быть построены смесители без паразитных интермодуляционных частот. Управляемые линии передачи позволяют существенно упростить решение проблем согласования в СВЧ области, а также облегчить микроминиатюризацию и частотную перестройку большого числа СВЧ устройств. Судя по возможным применениям, можно надеяться, что предлагаемые приборы со временем займут заметный сектор электроники с соответствующим объемом рынка и социальными результатами.

3. Информация о заявителе.

Ф.И.О., основное место работы, должность:

- **Иоффе Валерий Моисеевич**, частное лицо, тел **3832-541329**, Т/ факс **3832-481491**.

Почтовый адрес

- **630064**, Новосибирск, ул. Новогодняя, д. **16**, кв.16

Адрес электронной почты: **vm@v-ioffe.ru**

страницы в Интернете: www.v-ioffe.ru

Журнальные публикации по теме проекта:

Электроника НТБ, 6/97, с.5-10, В. Иоффе, Полупроводниковые приборы на основе модуляции площади электродов.

Электроника НТБ 5/2001 стр. 60-63, В. Иоффе, Управляемые емкости, особенности создания

Solid-State Electronics, 49(2005), 385-397, V.M.Ioffe, S.I.Chicichev, New varactors and high-power high-frequency capacitive devices.

Чтобы не судить о качестве работ только по названию печатного издания,

- Вы можете зайти на сайт www.v-ioffe.ru и найти там эти публикации.

4,5. Современное состояние исследований и разработок в области реализации проекта. Новизна предлагаемого подхода по сравнению с известными, сущность разработки
Поскольку в нашем случае именно новизна разработки по сути и определяет ее сущность, мы объединили пункты 4 и 5 в один пункт.

Варактор (варикап) - один из самых известных полупроводниковых приборов. По варакторам и варикапам имеются тысячи статей и им отведены десятки страниц в учебниках. Типичная конструкция варикапа представляет собой полупроводниковую пленку, которая размещена на сильнолегированной подложке с противоположным, по сравнению с пленкой, типом проводимости. Пленка и подложка снабжены контактами для подачи внешнего напряжения. При определенной полярности управляющего напряжения формируется слой полупроводника, обедненный основными носителями заряда. Толщина обедненного слоя (эквивалент диэлектрической прослойки в обычном конденсаторе) зависит от напряжения смещения и распределения легирующей примеси в пленке. Недостатки типичной конструкции:

1. Невозможно реализовать наперед заданную зависимость емкости варикапа от напряжения $C(U)$ в силу технологической сложности формирования примесного профиля с наперед заданным распределением по толщине пленки, и по той причине, что часть важных для практического использования варикапов зависимостей $C(U)$ не реализуема ни при каком физически реальном распределении примеси.

2. Минимальное значение емкости варикапов определяется напряжением пробоя.

Предложен **варикап с любым наперед заданным видом C/V характеристики при сверхбольшом отношении C_{max}/C_{min} . (Иоффе В.М., патенты РФ № 2086045, 2086044).**

Классический варикап эквивалентен конденсатору переменной емкости, у которого при подаче управляющего напряжения, изменяется расстояние между обкладками.

С целью устранения имеющихся недостатков предложен варикап, который эквивалентен конденсатору переменной емкости, у которого при подаче на него напряжения изменяется как расстояние между обкладками, так и площадь обкладок, что технологически легко позволяет реализовать практически любую наперед заданную зависимость емкости от напряжения.

Обратимся к **фиг.1**, поясняющей принцип работы и устройство одного из вариантов предлагаемого варикапа. На рисунке изображен варактор, содержащий область $p+$ типа (

подложку) с омическим контактом к ней, пленку n-типа толщиной D, омический контакт (токоотвод), выполненный по периметру рабочего участка пленки. На рабочем участке пленки

($0 \leq x \leq X_{\max}$, $0 \leq z \leq F(x)$) ионным легированием создан неоднородный профиль распределения донорной примеси $Ni(x,y)$, причем имплантационная доза возрастает от X_{\max} к 0. За пределами рабочего участка пленка слабо легирована и полностью обеднена основными носителями заряда при нулевом запирающем внешнем смещении на переходе. По мере увеличения запирающего напряжения на переходе, область пространственного заряда (ОПЗ) постепенно заполняет рабочий участок пленки, при этом размер области нейтральности $H(U)$ и эффективная площадь пластин конденсатора S непрерывно уменьшаются:

$$S = Sk + \int_0^{H(V)} F(x) dx$$

Причем, сложная техническая проблема формирования примесного профиля заданного вида заменяется простой задачей формирования маскирующего покрытия заданной формы.

Недостаток описанного прибора - низкая добротность ввиду большой величины объемного сопротивления области нейтральности полупроводника - **устраняется** введением высокопроводящих полосок, которые выполнены на поверхности рабочего участка пленки вдоль направления z с зазором относительно токоотвода и образуют с пленкой омический контакт, (фиг. 2). По многим причинам интерес представляют линейные варикапы, в частности при использовании их в качестве умножительных или параметрических диодов, потому что среднее значение емкости такого варикапа не зависит от уровня гармонических сигналов на нем и не происходит расстройка резонансных контуров в которые включены такие приборы. Поверхность реальных приборов покрывается изолирующим слоем.

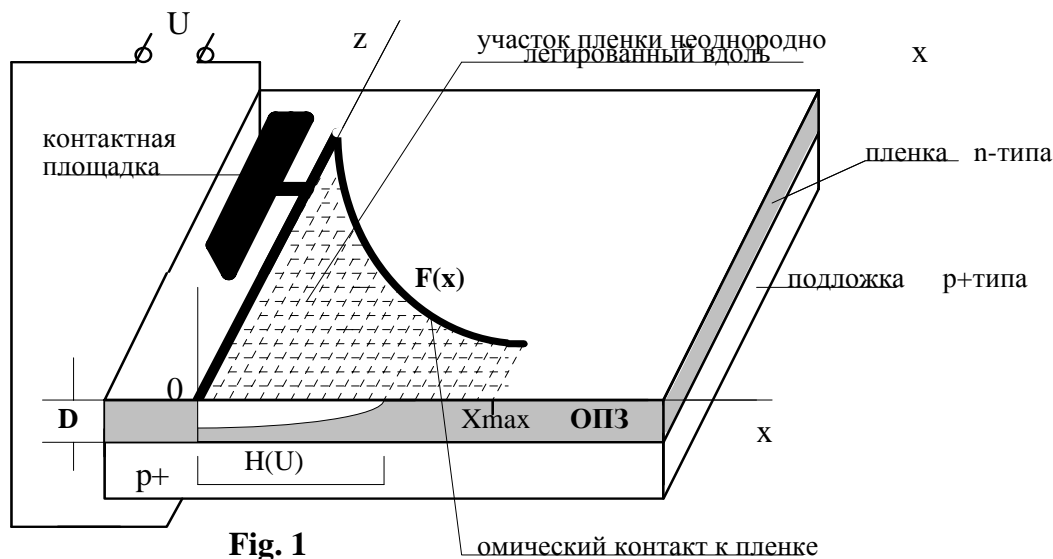
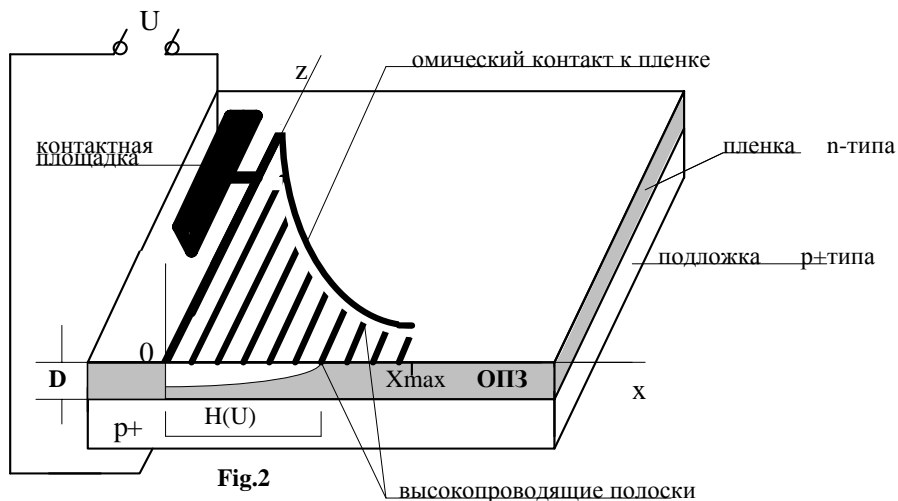


Fig. 1



В 93 году мне пришла идея устройства, аналогичного по принципу работы описанному выше варикапу и не имея практики оформления заявок на изобретения, я обратился к моему товарищу и сотруднику института физики полупроводников (ИФП) Чикичеву С.И., который пользовался уважением у руководства института. Мы пошли к директору института и получили разрешение на изготовление прибора. По моим расчетам были выполнены фотошаблоны и изготовлен года через полтора варикап с близкой к расчетной (линейной) вольт-фарадной характеристикой. В начале 94 года мое сотрудничество с ИФП закончилось. В результате сотрудничества были поданы 2 или 3 заявки на изобретение и получены патенты РФ (в 96 или 97 году, например № 2083029, патентообладатели Иоффе В.М., Чикичев С.,И., ИФП) В то время не было методов получения неоднородного примесного профиля с заданными характеристиками методами совместимыми со стандартной планарной технологией изготовления полупроводниковых приборов. То есть можно было изготовить единичные приборы, а массовое производство было невозможно. Поскольку у меня не было каких-либо средств к существованию, то, если бы не помощь моего друга Максимова А.И, который занимался тогда относительно успешно бизнесом, работа над новыми приборами скорее всего бы прекратилась.

В 1994 году, в рамках улучшения конструкций варикапов, нами было подано несколько заявок на изобретения, в том числе и международная заявка PCT/RU94/00269/. Через 3 года получены патенты РФ(№2086045, №2086044). В конце 1995 года стало понятно как, распространив способ изменения эффективной площади электродов на другие полупроводниковые приборы, добиться существенного улучшения их характеристик. И были изобретены принципиально новые полупроводниковые приборы, управляемые напряжением линии передачи и управляемые напряжением емкости .

Никаких публикаций по теме тогда еще не было.

В конце 1995 года по упомянутым приборам нами подано несколько заявок на изобретение и позднее получены патенты, например №№21086039, 2117360, 2119696, 2119698 (линия передачи, полупроводниковый прибор, транзистор, варикап). В 1996... 97 годах поданы международные заявки -полупроводниковый прибор PCT/RU96/00334 (где описывались управляемые емкости, линии передачи и транзисторы) и линия передачи - PCT/RU97/00213 (позднее получены патенты США) а также несколько национальных заявок. В конце 97 года я опубликовал статью, в которой кратко описана часть изобретенных приборов и приведены результаты расчетов в журнале Электроника НТБ, 6/97, с.5-10 (В. Иоффе, Полупроводниковые приборы на основе модуляции площади электродов). Статья имеется на нашем сайте с меньшим числом описок и опечаток. В 1998 году у Максимова А.И. возникли финансовые проблемы (у меня они были всегда). И нам оказала поддержку фирма ФЕОКОН, руководители которой Колесников В. И., и Лунев А.С. заинтересовались моими разработками. Они помогли нам оплатить часть международных заявок, и с их финансовой помощью были предприняты попытки в

1999 - 2001 годах изготовить варикапы и управляемые емкости на предприятиях Новосибирска по предложенному мной методу создания неоднородного примесного профиля, совместимому со стандартной технологией производства полупроводниковых приборов. Результаты этой работы позволили лучше понять работу упомянутых приборов и нашли отражение в поданных нами трех национальных заявках на изобретение и международной заявке PCT/RU01/00506. В конце 2001 года я опубликовал некоторые результаты работы в статье «Управляемые емкости, особенности создания», В. Иоффе, Электроника НТБ 5/2001, стр. 60-63. Статья на русском и английском языках приведена на нашем сайте в **приложении 4**.

В 2003 году я подал новые заявки на изобретение управляемых емкостей на другом физическом принципе работы, участвовал в Конкурсе русских инноваций и, к моему удивлению, не попал в третий тур. Ведь в самом деле созданы приборы, имеющие преимущество перед базовым элементом полупроводниковой электроники - транзистором, но почему-то оказались не очень нужны. Позднее после переписки с некоторыми ведущими учеными меня это перестало удивлять. Никто из них не читал журнал, в котором имеются публикации моих работ. По их мнению, без публикаций в известных англоязычных журналах, в настоящее время никакая работа не имеет серьезной перспективы. В 2004 году я попал в финальную часть аналогичного конкурса.

Очень известный ученый рекомендовал Журналы, в которых мне следовало бы опубликоваться и прислал примеры своей переписки с редакцией при возникновении спорных вопросов. Другому ведущему специалисту (очень занятый человек, не пожалевший своего времени на довольно объемную переписку со мной), мне пришлось на нескольких страницах объяснять, почему у управляемых емкостей можно обойти электронное ограничение по мощности, а у других полупроводниковых приборов нельзя. Он дал мне советы – как, по его мнению, следует разместить материалы планируемой статьи. Я воспользовался этими советами, в 2005 году в **Solid-State Electronics** статья была опубликована.

Транзистор является сегодня базовым элементом микроэлектроники. Предложенный способ изменения эффективной площади электродов у полупроводниковых приборов позволяет создать, в частности, транзисторные усилители с линейной передаточной характеристикой без использования отрицательной обратной связи.

Линейных передаточных характеристик в усилителях, собранных как на полевых так, и на биполярных транзисторах, добиваются, как правило, за счет резкого снижения коэффициента усиления путем введения отрицательной обратной связи, путем включения в истоковую цепь у полевых либо в эмиттерную цепь у биполярных транзисторов дополнительного балластного сопротивления. (Гринфилд Дж. Транзисторы и линейные ИС, М., Мир, 1992, стр. 186-187, 306). Снижение коэффициента усиления - нежелательное явление, кроме того для транзисторных усилителей, работающих на СВЧ, где максимальная мощность транзисторов невелика и коэффициент усиления по мощности и без того низкий (на частотах порядка 10 Ггц составляет несколько единиц на каскад при удельной выходной мощности порядка одного ватта на мм затвора, см., например, Шур М. Современные приборы на основе арсенида галлия М., Мир, 1991, стр. 383-403) такой способ линеаризации передаточной характеристики не подходит в принципе.

Нами предложены

Транзисторы с любым задаваемым, в том числе линейным, видом передаточной характеристики (Иоффе В.М., Максудов А.И., патент РФ №2143157)

Для пояснения работы транзистора обратимся к фигуре 20, на которой представлено усилительное устройство, содержащее транзистор, который включает в

себя области коллектора -1, базы -2, эмиттера -3 и управляющего электрода - 4, легированные соответственно примесями n , p , n , p типа, с омическими контактами к ним. Усилитель на транзисторе содержит источник входного напряжения -5, источник прямого смещения между эмиттером и базой - 6, источник обратного смещения между коллектором и базой - 7, нагрузку -8. Причем область эмиттера, легирована неоднородно вдоль поверхностной координаты x . Поверх эмиттера ($y < 0$), сформированного в рабочей области ($0 \leq x \leq x_0$, $0 \leq z \leq F(x)$, $0 \leq y \leq D$), выполнен управляющий электрод, который изготовлен из полупроводникового материала противоположного с эмиттером типа проводимости, с омическим контактом к нему либо из металла, образующего с эмиттером барьер Шоттки. Причем степень легирования возрастает от X_0 к 0. Причем по крайней мере часть рабочей области обедняется полностью основными носителями заряда при подаче запирающего напряжения на переход управляющий электрод-эмиттер до пробоя. По мере увеличения запирающего напряжения U на переходе эмиттер - управляющий электрод размер вдоль x области нейтральности $N(U)$ и эффективная площадь эмиттера $S(U)$ непрерывно уменьшается, что приводит к пропорциональному уменьшению тока эмиттера и коллектора ($I_k \sim S(U)$) и снимаемого с нагрузки 8 выходного сигнала. При этом функциональная зависимость тока эмиттера и коллектора от напряжения определяется функциональной зависимостью размера области эмиттера $F(x)$ вдоль z

. То есть задавая ту или иную форму области эмиттера можно менять зависимость коллекторного тока от напряжения. Очевидно, что аналогичного изменения эффективной площади эмиттера можно добиться при однородном по площади легировании эмиттера если толщина области эмиттера неоднородна и также при неоднородной толщине и уровне легирования вдоль поверхностной координаты x . Для преобладания тока эмиттера над током базы необходимо преобладание степени легирования области эмиттера над областью базы. Либо эмиттер должен быть выполнен из полупроводникового материала с шириной запрещенной зоны больше чем ширина запрещенной зоны полупроводника из которого выполнена область базы.

Если в неоднородно легированной области эмиттера сформировано дополнительно большое число проводящих участков 10 (фигура 21), которые выполнены из сильнолегированного материала того же типа проводимости, что и слаболегированная основа области эмиттера и участки 10 сформированы с зазором относительно омического контакта 11 и вспомогательной области 9, которая обладает высокой проводимостью (которая на фигуре 21 выполнена вдоль периметра области эмиттера) работа транзистора не отличается от вышеописанного случая. По мере увеличения запирающего напряжения U на переходе эмиттер - управляющий электрод размер области нейтральности вдоль x слаболегированной основы эмиттера (легированной неоднородно вдоль x), уменьшается. Те сильнолегированные участки 10, которые находятся внутри той части слаболегированной основы, которая полностью обеднена основными носителями заряда, как бы отсекаются от эмиттера. Все контакты отделены друг от друга диэлектрической прослойкой -12 (SiO_2). Конструкция транзистора с чередованием сильнолегированных слоев в неоднородно слаболегированной основе области эмиттера позволяет:

1. Расширить область подаваемых напряжений (электрический пробой толстых слаболегированных переходов наступает при существенно больших входных напряжениях чем у сильнолегированных).

2. Снизить емкость управляющий электрод-эмиттер путем формирования более толстых эмиттеров.

3. Повысить коэффициент усиления транзистора (возможно управление эффективной площадью эмиттера при существенно меньших входных напряжениях при тонкой неоднородно легированной основе).

4. Снизить объемное сопротивление эмиттера.

Очевидно, что объемное сопротивление эмиттера пропорционально $\sim \rho F / D / x_0$ в случае конструкции транзистора при отсутствии проводящих участков 10 и пропорционально $\sim \rho \Delta / D / x_0$ при наличии проводящих областей 10 (F - среднее значение $F(x)$, ρ - величина среднего удельного сопротивления области нейтральности эмиттера, Δ - величина зазора между полосками 10 и полоской 9, D - средняя толщина области эмиттера). То есть введение полосок позволяет снизить объемное сопротивление эмиттера в F/Δ раз.

Минимальная эффективная площадь эмиттера определяется площадью омического контакта и площадью вспомогательной полоски 9. С целью уменьшения величины минимальной эффективной площади эмиттера необходимо выносить контактную площадку эмиттера (которая может иметь относительно большую площадь) на диэлектрический слой.

Заметим, что изменения эффективной площади эмиттера можно добиться и при однородно легированной вдоль x области эмиттера имеющей однородную толщину. Для этого необходимо использовать управляющие электроды неоднородно легированные вдоль x . Для пояснения работы транзистора обратимся к фигуре 22, на которой представлено усилительное устройство, содержащее транзистор, который включает в себя области коллектора -1, базы -2, эмиттера -3 и управляющего электрода - 4, легированные соответственно примесями n , p , n , p типа, с омическими контактами к ним. Усилитель на транзисторе содержит источник входного напряжения-5, источник прямого смещения между эмиттером и базой - 6, источник обратного смещения между коллектором и базой - 7, нагрузку -8. Причем эмиттер легирован однородно вдоль поверхностной координаты x . Поверх эмиттера ($y < 0$), сформированного в рабочей области ($0 \leq x \leq x_0$, $0 \leq z \leq F(x)$, $0 \leq y \leq D$), сформирован управляющий электрод, выполненный из полупроводникового материала противоположного с эмиттером типа проводимости с омическим контактом к нему. Степень легирования управляющего электрода увеличивается вдоль x при этом очевидно толщина области пространственного заряда (ОПЗ) в управляющем электроде с увеличением x уменьшается, тем самым увеличивается падение напряжения на области эмиттера (увеличивается вдоль x толщина области пространственного заряда в области эмиттера). Причем по крайней мере часть рабочей области обедняется полностью основными носителями заряда при подаче запирающего напряжения на переход управляющий электрод-эмиттер до пробоя. По мере увеличения запирающего напряжения U на переходе эмиттер - управляющий электрод размер вдоль x области нейтральности и эффективная площадь эмиттера непрерывно уменьшается, что приводит к пропорциональному уменьшению тока эмиттера и тока коллектора и снимаемого с нагрузки 8 выходного сигнала. При этом функциональная зависимость тока эмиттера и коллектора от напряжения определяется функциональной зависимостью размера области эмиттера $F(x)$ вдоль z .

Поскольку функциональная зависимость тока эмиттера и коллектора от напряжения определяется функциональной зависимостью размера области эмиттера $F(x)$ вдоль z можно задавшись необходимой зависимостью (например линейной) коллекторного тока от напряжения подобрать под эту зависимость необходимую форму области эмиттера.

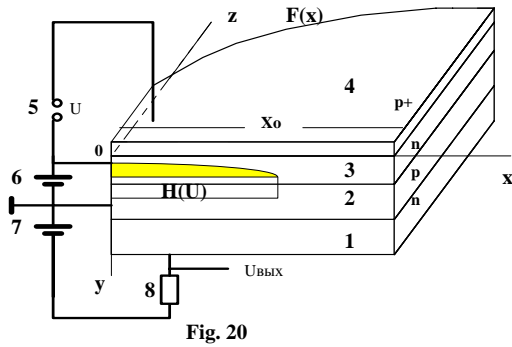


Fig. 20

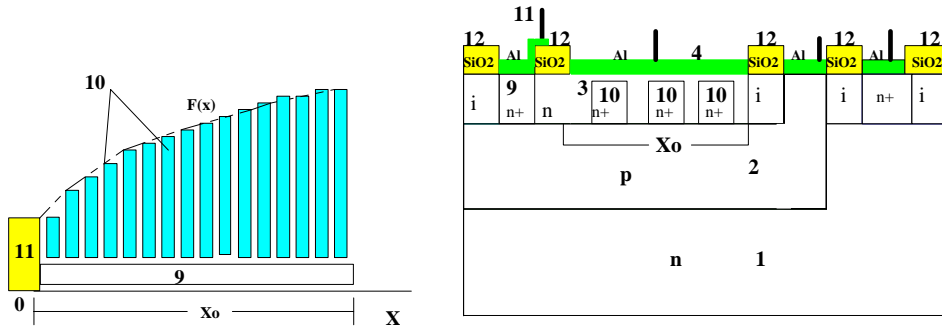


Fig. 21

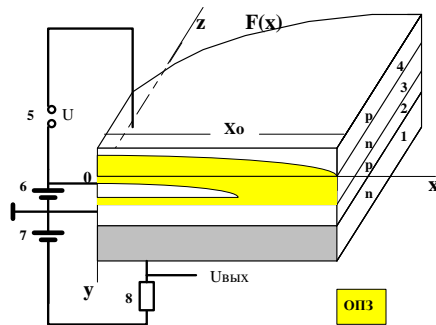


Fig. 22

К недостаткам всех линий передачи относится то, что параметры линии передачи такие как волновое сопротивление и длина не регулируются внешним источником напряжения, что затрудняет миниатюризацию настройки и частотную перестройку большого числа СВЧ устройств.

Нами предложены

Управляемые линии передачи. (Иоффе В.М., Максупов А. И., патент РФ № 2139599, аналогов нет)

Для пояснения работы управляемой линии передачи обратимся к фигуре 16, на которой приведен один из вариантов предлагаемой линии передачи, содержащий проводящие полосы - 3, выполненные вдоль длины линии проводящую полосу -6, слой диэлектрика -5, неоднородно легированную вдоль ширины линии примесями n-типа область-1 с омическим контактом, область -2 с омическим контактом, которая образует с областью 1 p-n переход либо барьер Шоттки. На фигуре 13 изображены также источник управляющего напряжения - 9, подключенный p-n переходу через дроссель -11, служащий для развязки цепей источника входного сигнала и

управляющего напряжения по переменному току, источник входного сигнала - 10. Поверх проводящих полосок 3 сформирован эпитаксиальный n-типа слой поликристаллического кремния 1, образующий с полоской 3 омический контакт. Причем слой поликристаллического кремния 1 неоднородно легирован вдоль ширины линии (вдоль направления Z). Причем степень легирования уменьшается с ростом Z . Поверх слоя поликристаллического кремния сформирована область -2 с омическим контактом, которая образует с областью 1 p-n переход либо барьер Шоттки. По мере увеличения запирающего напряжения U (источника 9) на переходе размер вдоль Z области нейтральности в полупроводнике n-типа $N(U)$ непрерывно уменьшается. При этом эффективная ширина линии W с дискретностью равной ширине одной из полосок 3 повторяет $N(U)$, что приводит к пропорциональному увеличению волнового сопротивления линии ($\rho \sim 1/N(U)$).

Для пояснения работы линии передачи с изменяемой длиной обратимся к фигуре 17, которая содержит проводящие полоски - 3, выполненные вдоль ширины линии, проводящую полоску -6, слой диэлектрика -5, неоднородно легированную вдоль длины линии примесями n-типа область-1 с омическим контактом, область -2 с омическим контактом, которая образует с областью 1 p-n переход либо барьер Шоттки. На фигуре 17 изображены также источник управляющего напряжения - 9, подключенный p-n переходу через дроссель -11, служащий для развязки цепей источника входного сигнала и управляющего напряжения по переменному току, источник входного сигнала -10. Поверх проводящих полосок 3 сформирован эпитаксиальный n-типа слой поликристаллического кремния 1, образующий с полосками 3 омический контакт. Причем слой поликристаллического кремния 1 неоднородно легирован вдоль длины линии (вдоль направления X). Причем степень легирования уменьшается с ростом X . Поверх слоя поликристаллического кремния сформирована область - 2 с омическим контактом, которая образует с областью 1 p-n переход либо барьер Шоттки. По мере увеличения запирающего напряжения U (источника 9) на переходе размер вдоль X области нейтральности (в полупроводнике n-типа) $N(U)$ уменьшается. При этом эффективная длина линии L повторяет $N(U)$ с дискретностью равной ширине одной из полосок 3.

Для исключения нежелательного влияния емкостной связи между областями 6 и 2 p-n переход (барьер Шоттки) может быть сформирован над частью полосок 3. На фигуре 18 приведена линия передачи, которая содержит проводящие полоски - 3, выполненные вдоль длины линии, проводящую полоску -6, слой диэлектрика -5, неоднородно легированную вдоль ширины линии примесями n-типа область -1 с омическим контактом, область -2 с омическим контактом, которая образует с областью 1 p-n переход либо барьер Шоттки. На фигуре 18 изображены также источник управляющего напряжения - 9, подключенный p-n переходу через дроссель - 11, служащий для развязки цепей источника входного сигнала и управляющего напряжения по переменному току, источник входного сигнала -10, сопротивление нагрузки 12, подключенное к выходу линии. Причем p-n переход (барьер Шоттки) выполнен в начале и в конце линии. Заметим, что p-n переход либо барьер Шоттки может быть сформирован на продолжении проводящих участков 3 за пределами диэлектрической прослойки 5.

Второй способ исключения нежелательного влияния емкостной связи между областями 6 и 2 заключается в том, что у p-n перехода неоднородно вдоль Z (X) легируются как n- область так и p- область. При этом по мере роста управляющего напряжения размер области нейтральности вдоль Z (X) в p-области уменьшается также как и в n-области.

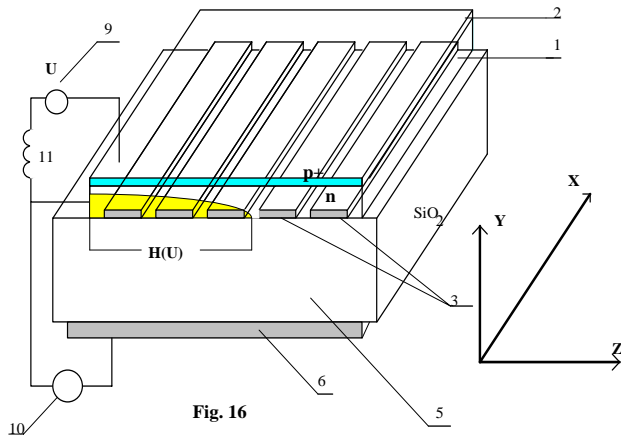


Fig. 16

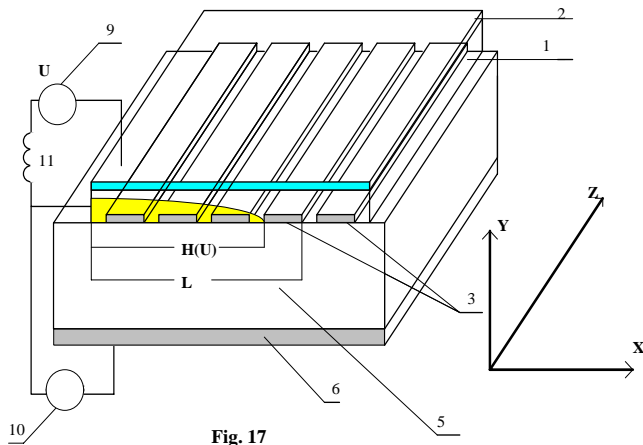


Fig. 17

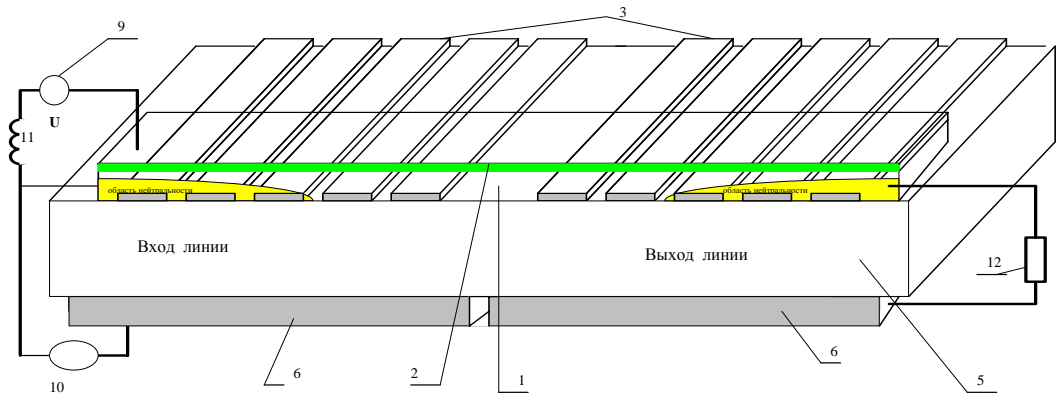


Fig. 18

Заметим что управляемые линии передачи могут использоваться в качестве переключателей, (например в комбинации с обычной катушкой индуктивности могут применяться в качестве управляемой напряжением индуктивности см. заявку РФ № 96117056 по которой также нами был получен патент)

Линии передачи у которых напряжением управляются как длина так и волновое сопротивление приведены в нашем патенте РФ № 2168813.

Управляемые конденсаторы (трансформаторы емкости).
(Иоффе В.М., Максutow А. И., патент РФ № 2139599, аналогов нет)

По аналогии с транзисторами (трансформатором сопротивлений) выходное сопротивление которых регулируется источником сигнала размещенным во входной цепи предлагается трансформатор емкости - прибор, величина выходной емкости которого регулируется сигналом, поданным на входную емкость.

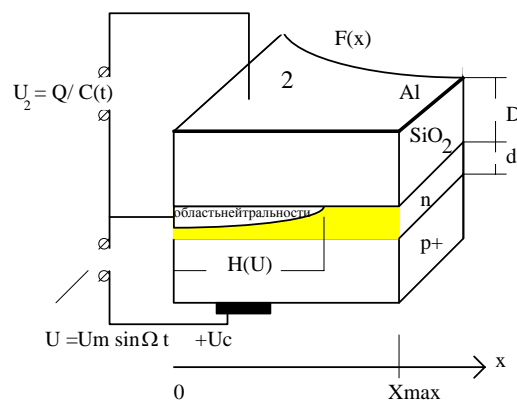
В отличие от варикапа (варактора), являющегося двухполосником, управляемая емкость является прибором с тремя выводами. И сфера применения управляемых емкостей по-видимому будет превосходить сферу применения варикапов не меньше чем сфера применения транзисторов превосходит сферу применения диодов.

Управляемые емкости (трансформаторы емкостей) позволяют осуществлять усиление и частотное преобразование сигналов и имеют большое преимущество перед транзисторами по уровню передаваемых мощностей т.к. температурные ограничения снижены (емкость не нагревается) и отсутствует электронное ограничение по мощности связанное с пробоем полупроводниковых структур. (приводящее к квадратичному падению мощности п.п. приборов с частотой). Электронное ограничение по мощности принципиально не позволяет существенно увеличить мощность транзисторов (как и других полупроводниковых приборов) на больших частотах при любом их совершенствовании, что сужает применение полупроводниковых приборов в СВЧ области. Например, не дает возможности непосредственно использовать их в приеме – передающих устройствах в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне длин волн, в частности в сотовых или спутниковых устройствах связи. В комбинации гетеропереходного транзистора с управляемой емкостью несложно изготовить миниатюрное полупроводниковое приемо-передающее устройство мощностью единицы Вт на рабочих частотах в сотни ГГц. Перевод устройств связи и интернета с единиц на сотни ГГц позволил бы на порядки увеличить число одновременно работающих каналов связи и в сотни раз больше позволил бы за одно и тоже время увеличить объем передаваемой информации. Это позволило бы создать новое поколение широкополосной связи.

Управляемые емкости могут быть использованы в качестве трансформаторов, легко реализуемых в интегральном исполнении.

Емкостные трансформаторы являются более технологичными и экономичными по сравнению с индуктивными трансформаторами, и могут заменить индуктивные трансформаторы при применении в среднечастотной высокочастотной и СВЧ области.

Упрощенный принцип работы управляемого конденсатора



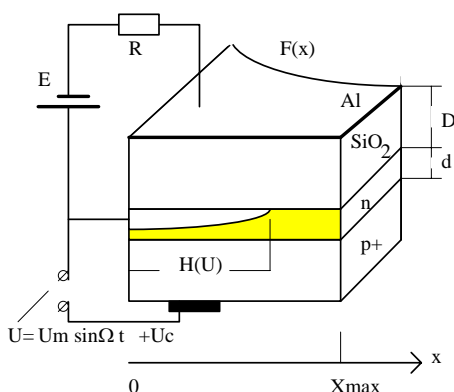
Фиг. 1 Управляемый конденсатор

на примере управляемого конденсатора, который содержит p-n переход с неоднородным вдоль направления x профилем легирования. На поверхности p-n перехода сформирован слой диэлектрика 1, на поверхности диэлектрика нанесен металлический слой 2 (Фигура 1). p-n переход, содержащий сильнолегированную область p+ типа с омическим контактом, на которой выполнена пленка n типа с другим омическим контактом. В пленке ($0 \leq x \leq X_{\max}$, $0 \leq z \leq F(x)$, $y \leq d$) сформирован неоднородный профиль распределения донорной примеси $Ni(x,y)$, причем степень легирования возрастает от X_{\max} к 0. По мере увеличения запирающего напряжения, подаваемого на p-n переход непрерывно уменьшаются размер области нейтральности $H(U)$ и эффективная площадь пластин управляемого конденсатора, образованного между областью нейтральности пленки и металлическим слоем 2.

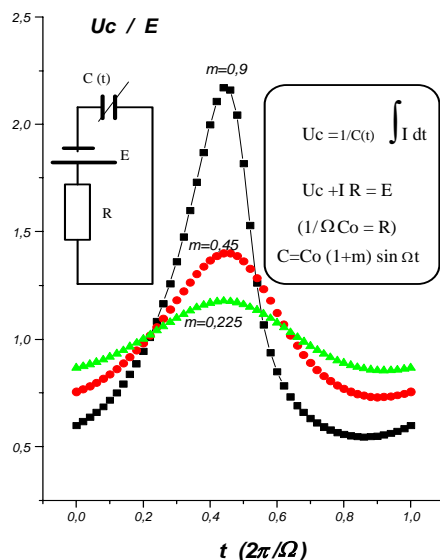
То есть вместе с барьерной емкостью p-n перехода, на которую подается напряжение по мере изменения напряжения меняется другая емкость (управляемая) на которую напряжение может и не подаваться. Если $C(t)$ - зависимость величины управляемой емкости от времени, Q - заряд на управляемой емкости, то напряжение на управляемой емкости $U_2 = Q/C(t)$.

заряд можно подавать на управляемую емкость через нагрузку от источника питания.

Пример 2 . Емкостной трансформатор с постоянным источником питающего напряжения. Изменяется величина емкости между омическим контактом к пленке n типа и проводящим участком 2 к которым подключен через нагрузку источник питающего напряжения с большим номиналом при помощи относительно небольшого питающего напряжения, поданного на p-n переход (Фигура 2.1). Расчетная зависимость величины напряжения на управляемой емкости от степени ее модуляции представлена на фигуре 2.2.



Фиг. 2.1. Трансформатор



Фиг.2.2. Напряжение на управляемой емкости.

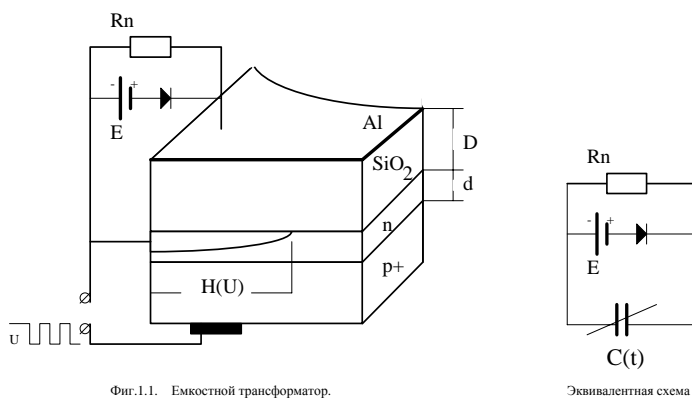
Вместо источника питания может быть использован заряженный конденсатор

Как следует из оценочных расчетов, управляемые емкости работоспособны на частотах до сотен ГГц:

Имеются конструкции управляемых емкостей частью запатентованные а частью патентуемые нами, которые по расчетам работоспособны на порядок больших частотах.

Пример (Идея МаксUTOва А.И.) Емкостной трансформатор с постоянным источником питающего напряжения и диодом (фиг. 1.1)

При подаче запирающего импульса на р-п переход управляемая емкость между металлом и п- областью уменьшается , потенциал на управляемой емкости увеличивается пропорционально ее уменьшению. Вследствие чего диод запирается , а управляемая емкость разряжается через нагрузку.

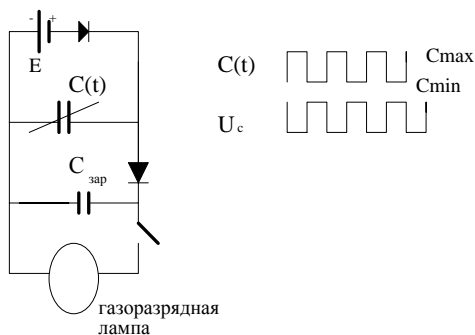


Фиг.1.1. Емкостной трансформатор.

Эквивалентная схема

На управляемой емкости $C(t)$ максимальное напряжение дается соотношением $U_c \approx E \cdot C_{max}/C_{min}$, где C_{max}/C_{min} отношение максимальной величины управляемой емкости к минимальной, E – величина напряжения источника питания.

Пример применения трансформатора в фотовспышке.

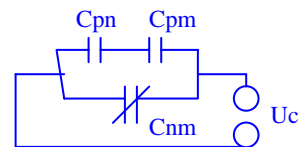
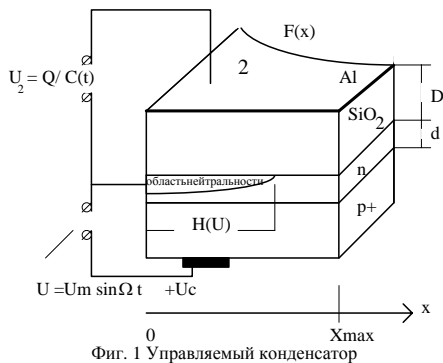


В результате подачи управляющего импульсного напряжения на полупроводниковый переход изменяется импульсно и величина управляемой емкости $C(t)$, что приводит к скачкообразным изменениям управляемой емкости, величина которой изменяется от C_{min} до C_{max} . Вследствие чего на управляемой емкости напряжение изменяется от величины источника постоянного напряжения E до $E \cdot C_{max}/C_{min}$. Импульсы напряжения заряжают зарядную емкость ($C_{зар}$) до величины $\approx E \cdot C_{max}/C_{min}$. Разрешаться емкости через источник питания не дает диод. Зарядная емкость разряжается при нажатии кнопки (замыкания ключа) через газоразрядную лампу.

В свою очередь Зарядная емкость может быть использована как источник питания, что позволяет каскадно усиливать сигналы по напряжению. (явно проще и дешевле чем мотать катушки, применение – везде где требуется подача высоких (в том числе изменяемых напряжений) на емкостные нагрузки

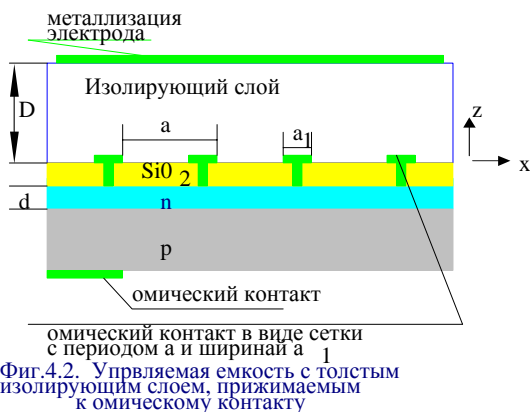
Аналогичное устройство нетрудно предложить в качестве альтернативы существующим системам зажигания с индуктивными свечами у двигателей внутреннего сгорания и для высоковольтных преобразователей.

На предлагаемых управляемых конденсаторах могут быть построены генераторы усилители и смесители большой мощности, поскольку нет ограничений, присущих другим полупроводниковым приборам (транзисторы, диоды), связанных с пробоем достаточно тонкой области пространственного заряда и нагревом. Однако, чтобы на практике воспользоваться этим достоинством, следует учитывать, что параллельно управляемой емкости всегда включен р-п переход, последовательно соединенный с емкостью, образованной металлом и подложкой (р+-типа в рассмотренном случае, см. фиг.1). Простейшая эквивалентная схема управляемой емкости приведена на фиг. 4.1, где C_{pn} – емкость р-п перехода, C_{pm} – емкость подложка- металл на изолирующем слое, C_{nm} – емкость п-область- металл на изолирующем слое, U_c - внешнее напряжение на управляемой емкости.



Фиг.4.1. Эквивалентная схема управляемой емкости

Часть внешнего напряжения сосредоточенная на р-п переходе должна быть меньше напряжения пробоя(U_i) : $U_c / (1 + C_{pn} / C_{pm}) < U_i$ или если требуется хорошая развязка между входом (контакты р-п перехода) и выходом (контакт к р-области и металл) часть внешнего напряжения сосредоточенная на р-п переходе должна быть много меньше управляющего напряжения подаваемого на переход: $U_c / (1 + C_{pn} / C_{pm}) \ll U$. То есть почти всегда следует стремиться отношение C_{pn} / C_{pm} делать большим. Что реализуется либо включением параллельно р-п переходу дополнительной емкости, либо увеличением толщины изолирующего слоя, либо комбинацией того и другого.



Толстые изолирующие слои имеют большое пробойное напряжение и позволяют подавать и снимать с управляемой емкости большую мощность.

На фиг. 4.2 приведена конструкция управляемой емкости с сеточным омическим контактом к n-области с периодом a и шириной a_1 , и изолирующим слоем. С целью уменьшения сопротивления растекания и увеличения добротности прибора омический контакт к p-области имеет смысл выполнять в виде сетки. Приграничный слой SiO_2 и n-области легирован примесями p-типа. Изолирующий слой выполнен отдельно и прижимается металлизацией электрода к остальной части прибора, выполненной по планарной технологии. Конструкция приводит к снижению коэффициента перекрытия по емкости при относительно больших толщинах изолирующего слоя (Приложение 4 на нашем сайте).

Теперь кратко остановимся на важном с нашей точки зрения вопросе: почему у управляемых емкостей, в отличие от других полупроводниковых приборов, можно обойти электронное ограничение по мощности? Электронное ограничение по мощности связано с тем, что при приложении напряжения в полупроводниках образуется область пространственного заряда (ОПЗ). Если мы хотим снять максимально большую мощность с полупроводникового прибора, то напряжение на выходной цепи полупроводникового прибора, например в коллекторной цепи биполярного транзистора, должно меняться в максимально возможных пределах. Т.е. необходимо, чтобы за 1 период могла реализоваться ситуация от полного обеднения коллекторной области до полной ее нейтральности. Но скорость насыщения носителей заряда (V_s) позволяет это сделать не быстрее, чем за определенное время. Отсюда следует, что эффективная длина выходного элемента полупроводникового прибора (размер ОПЗ полупроводника, на которой падает переменное напряжение) ограничивается величиной порядка V_s/F . Если, например, транзистор имеет длину коллектора больше этого размера, то это приводит только к дополнительным омическим потерям. Максимальное напряжение на нагрузке определяется напряжением пробоя. максимальная мощность, выделяемая в нагрузке при этом порядка $(E_i V_s/F)^2/R$, F - частота, E_i – пробойное поле, R -сопротивление нагрузки. Это и есть электронное ограничение по мощности, справедливое для любых других полупроводниковых приборов.

У управляемых емкостей таких ограничений **по выходной** цепи нет, и величина выходной мощности определяется только добротностью системы. И можно мощные низкочастотные сигналы, которые легко реализуются на обычных полупроводниковых приборах, подавая в выходную цепь, преобразовывать в мощные высокочастотные сигналы, что по-нашему мнению, недоступно никакими другими средствами полупроводниковой электроники. В отличие от транзисторов, выходная цепь управляемых емкостей при преобразовании частоты, запитывается переменным током относительно низкой частоты, которая преобразуется в этой же цепи в высокую частоту. Во входную цепь при этом включен источник высокой частоты, малой мощности.

Из теории параметрических усилителей известно, что параметрическое преобразование частоты эффективно при $mQ \approx 1$, m - коэффициент модуляции управляемой емкости, Q - добротность цепи в которую включена управляемая емкость.

Может показаться, что увеличение толщины изолирующего слоя приведет к снижению степени модуляции управляемой емкости, вследствие чего прибор неработоспособен на высоких частотах. Но это не так, поскольку можно показать, что при использовании толстых изолирующих слоев ($D > a$) произведение коэффициента модуляции управляемой емкости на добротность не зависит от толщины изолирующего слоя (D).

Пример Расчет управляемой емкости для преобразователя частоты с 1 ГГц в 5 ГГц мощностью 200 Вт. (при варакторном преобразовании частоты максимальная мощность на полтора - два порядка ниже).

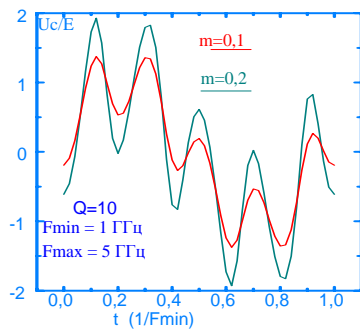
На р-п переход подается сигнал с частотой $F_{max} - F_{min} = 4$ ГГц, на управляемую емкость $F_{min} = 1$ ГГц, и колебательным контуром выделяется частота $F_{max} + F_{min} = 5$ ГГц. Определение параметров управляемой емкости (фиг.4.2).

1. Период сетки (a) удовлетворяет соотношению: $a < V_s / (F_{max} + F_{min}) = 1e5$ (м/сек) / $5e9$ (Гц) = 20 мкм. V_s - скорость насыщения электронов в кремнии. Положим $a = 7$ мкм, при $a_1 = 1$ мкм.

2. Изолирующий слой выполняем из кварца (электрическая прочность 10^9 В/м) толщиной 100 мкм., 3. Горизонтальные размеры п-области (a_x) выбираем из условия $a_x = \lambda / 20 \approx 1,5$ мм., при этом максимальная емкость равна: $C_{max} = 2\epsilon a_x^2 / D = 1,5 e-12$ Ф.

4. Параметры легирования п-области могут меняться в широких пределах, для определенности положим толщину п-области равной 1 мкм при уровне легирования $6,0 \cdot 10^{15}$ см⁻³.

5. Найдем максимальное напряжение на управляемой емкости и минимальное значение емкости $C_{//}$, включенной параллельно р-п переходу (из условия, что часть напряжения в цепи управляемой емкости приходящаяся на р-п переход ≈ 1 В.). $U_c = (2 P Q / F_{min} (0,5 C_{max}))^{1/2} \approx 1000$ В при $Q=10$, $P=200$ Вт., $C_{//}=0,5 C_{max}$ $U_c / 1В \approx 7,5 e-10$ Ф.



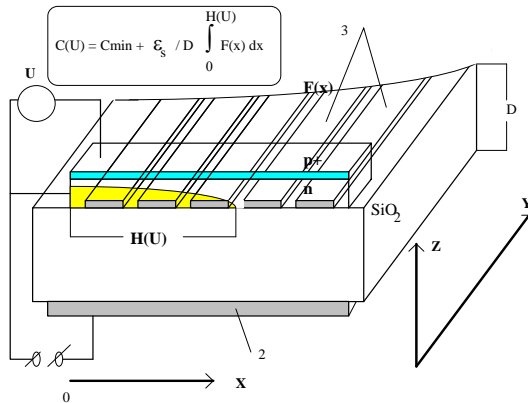
Фиг. 4.3. Зависимость напряжения на управляемой емкости от времени при преобразовании частоты в последовательном колебательном контуре

На фиг.4.3 приведена расчетная зависимость напряжения на управляемой емкости от времени в последовательном колебательном контуре при различной степени модуляции управляемой емкости (E – амплитуда низкочастотного сигнала, m -коэфф. модуляции).

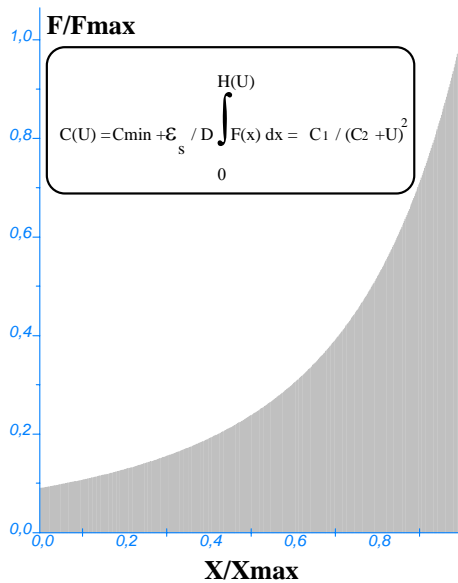
Пример3 . Управляемого конденсатора с любой наперед заданной зависимостью управляемой емкости от напряжения. Прибор содержит р-п переход с неоднородным вдоль направления x профилем легирования. Причем р-п переход, содержащий сильнолегированную область $p+$ типа с омическим контактом, на которой выполнена пленка n тира с другим омическим контактом выполнен поверх проводящих полосок 3. Проводящие полоски сформированы на поверхности диэлектрика. На другой поверхности диэлектрика сформирован металлический слой 2. (Фигура 3.1). Проводящие полоски выполнены на рабочем участке ($0 \leq x \leq X_{max}$, $0 \leq z \leq F(x)$). В пленке ионным легированием создан неоднородный профиль распределения донорной примеси $Ni(x,y)$, причем имплантационная доза возрастает от X_{max} к 0. По мере увеличения запирающего напряжения на переходе область пространственного заряда (ОПЗ) постепенно заполняет рабочий участок пленки, при этом размер области нейтральности $H(U)$ и эффективная площадь пластин управляемого конденсатора, образованного между проводящими полосками 3 и металлическим слоем 2 непрерывно уменьшаются. Для исключения нежелательного влияния емкостной связи между областями 2 и $p+$ областью р-п переход (барьер Шоттки) сформирован над незначительной частью полосок 3. Выбором формы

рабочего участка $F(x)$ можно обеспечить необходимую зависимость емкости от напряжения

На фигуре 3.2 приведена расчетная форма рабочего участка управляемого конденсатора, который в LC контуре может быть использован в качестве идеального частотного модулятора ($C(U)=C_1/(C_2+U)^2$) при отношении $C_{max}/C_{min}=5$, причем при линейно спадающей вдоль направления x степени легирования n области ($H(U) \sim X_{max}(1-U/U_{max})$).



Фиг. 3.1 Управляемый конденсатор с задаваемой зависимостью емкости от напряжения.



Фиг. 3.2 . Расчетная форма полосок

Ограниченность в средствах не позволила, с нашей точки зрения, получить достаточный для всестороннего изучения управляемых емкостей и новых варакторов объем экспериментального материала. И изготовить хотя бы партию приборов, готовых к конкретным приложениям. Для решения этих задач желательно проведение НИОКР.

6. Права на интеллектуальную собственность.

В настоящее время мы поддерживаем следующие патенты:

Патент РФ № 2139559 (заявка 96 124161 от 18.01.96)

(полупроводниковый прибор)

Патент США № 6037650 (от 14 марта 2000 г)

Запатентованы управляемые емкости, транзисторы, управляемые линии передачи, патентообладатели - Иоффе В.М., Максудов А.И.

Патент РФ № 2168813 (заявка 97102224 от 11.02.97)

(линия передачи)

Патент США № 6201459 В1(от 13 марта 2001)

Запатентованы управляемые линии передачи

патентообладатели - Иоффе В.М., Максудов А.И.

Патент РФ № 2143157 (заявка № 95119306 от 15.11.95)

Запатентован транзистор с задаваемой передаточной характеристикой.

патентообладатели - Иоффе В.М., Максудов А.И.

Патент РФ № 2086045(заявка № 94029163 от 3 августа 94 года)

(варикап)

Запатентован варикап(варактор).

Патентообладатель Иоффе В. М.

Оформляются 3 заявки, модернизирующие конструкцию управляемых емкостей, в России (заявители Иоффе В.М., Максудов А.И.) В частности в заявке

№ 2003120774 (2003, Россия) Иоффе В.М., Максудов А.И. –

патентуется управляемая емкость на другом принципе работы.

В 2006 году получено еще 3 патента по управляемым емкостям

По заявке № 2001130810/28(032734), патент № 2279736.

По заявке № 2003120774/28(021962) патент № 2278448.

По заявке № 2004115661/28(016999) патент № 2278449

Патентообладатели Иоффе В.М., Максудов А.И.

7. Назначение и области применения Описание товарной продукции.

Приборы могут найти широкое применение в Электронике, Электронике СВЧ, Технике связи. Товарной продукции пока нет.

8. Конкурентные преимущества.

Перед создателями полупроводниковых приборов долго (не одно десятилетие) стояли задачи изготовления варактора с любой наперед заданной вольт-фарадной характеристикой (в частности линейной), транзистора с линейной передаточной характеристикой, управляемых напряжением линий передач и управляемой напряжением емкости, позволяющей на порядки повысить мощность полупроводниковых приборов в СВЧ области. Сейчас эти задачи по-видимому, ясно как решать. Решение этих задач дает очевидные конкурентные преимущества перед существующими аналогами и позволяет решать совершенно новые прикладные задачи.

Конкурентные преимущества.

Варикапы (варакторы).

Недостатки выпускаемых сегодня аналогов:

1. Невозможно реализовать наперед заданную зависимость емкости варикапа от напряжения $C(U)$ в силу технологической сложности формирования примесного профиля с наперед заданным распределением по толщине пленки, и по той причине, что часть важных для практического использования варикапов зависимостей $C(U)$ не реализуема ни при каком физически реальном распределении примеси.

2. Минимальное значение емкости варикапов определяется напряжением пробоя.

По многим причинам интерес представляют линейные варикапы, в частности при использовании их в качестве умножительных или параметрических диодов. Дело в том, что среднее значение емкости такого варикапа не зависит от уровня гармонических сигналов на нем и не происходит расстройки резонансных контуров, в которые включены такие приборы. В какой-то степени эту задачу решают варактры с симметричной относительно рабочей точки вольт-фарадной характеристикой. В настоящее время промышленность не выпускает ни тех ни других.

Предложенные нами варакторы (варикапы) решают эти проблемы.

Транзисторы

Как утверждает физика полупроводниковых приборов, максимальная мощность транзисторов ограничивается температурными границами, что приводит к пропорциональному ее падению с частотой, электронным ограничением, приводящим к квадратичному падению мощности транзисторов с частотой (этот недостаток присущ и другим полупроводниковым приборам). Поэтому мощность ВЧ и СВЧ транзисторов много меньше мощности среднечастотных транзисторов. Если транзистор используется для неискажающего усиления сигналов, то передаточная характеристика усилителя, собранного на транзисторе должна быть линейной. До настоящего времени это решалось дополнительным включением сопротивлений обратной связи в цепи усилителя. Что приводило к потере мощности на упомянутых сопротивлениях и снижению мощности, передаваемой нагрузке.

Этот недостаток может быть устранен при использовании предложенного нами транзистора с линейной передаточной характеристикой. Что особенно важно для ВЧ и СВЧ усилителей.

Линии передачи

В СВЧ области основная проблема – согласование нагрузки с передающим устройством - решается путем включения между передающим устройством и нагрузкой согласующей линии, имеющей вполне определенные геометрические размеры (например четвертьволновые трансформаторы), зависящие от сопротивлений согласуемых устройств, эти сопротивления в свою очередь как правило зависят от частоты или мощности сигнала.

На практике довольно часто неизвестны величина нагрузки и сопротивление генератора. Поэтому приходится использовать в зависимости от режима работы большое число согласующих устройств.

При применении управляемых линий передачи можно использовать одно согласующее устройство, которое перестраивается в зависимости от режима работы. Очевидны преимущества, которые дает применение управляемых линий передачи в измерительных устройствах при настройке СВЧ устройств и при создании перестраиваемых генераторов частоты.

Управляемые конденсаторы

В отличие от варикапа (варактора), являющегося двухполюсником, управляемая емкость является прибором с тремя выводами. И сфера применения управляемых емкостей по-видимому, будет превосходить сферу применения варикапов не меньше, чем сфера применения транзисторов превосходит сферу применения диодов.

Управляемые емкости (трансформаторы емкостей) позволяют осуществлять усиление и частотное преобразование сигналов и имеют большое преимущество перед транзисторами, варакторами и другими полупроводниковыми приборами по уровню передаваемых мощностей, т.к. температурные ограничения снижены (емкость не нагревается) и отсутствует электронное ограничение по мощности, связанное с пробоем полупроводниковых структур (приводящее к квадратичному падению мощности п.п. приборов с частотой).

Заметим, что полупроводниковые приборы вытеснили лампы везде, где это только возможно. Низкая стоимость, технологичность и миниатюрность сделали свое дело. По принципиальным причинам полупроводниковые приборы из-за температурных и электронных ограничений не могли соперничать с лампами (электро-вакуумными приборами) в СВЧ области, там где требуется большая мощность. Мы считаем, что теперь, с применением управляемых емкостей, границы замены ламп полупроводниковыми приборами существенно раздвинуты.

Управляемые емкости могут быть использованы в качестве трансформаторов, легко реализуемых в интегральном исполнении.

Емкостные трансформаторы являются более технологичными и экономичными по сравнению с индуктивными трансформаторами, и могут заменить индуктивные трансформаторы при применении в среднечастотной высокочастотной и СВЧ области. Добротность их выше и коэффициент трансформации регулируется величиной напряжения, подаваемого на управляемую емкость.

Очевидно, что большую экономическую выгоду сулит применение управляемых емкостей в качестве мощных преобразователей частоты.

9. Рынок сбыта

Никаких исследований рынка сбыта не проводилось. Но возможные технические приложения новых полупроводниковых приборов позволяют предположить, что со временем эти полупроводниковые приборы станут заметным сектором в электронике с соответствующим рынком сбыта.

10. Порядок коммерциализации результатов разработки.

Поскольку у нас нет технологической линейки по производству полупроводниковых приборов серийное производство лишь при кооперации с предприятием по производству полупроводниковых приборов, либо размещения заказов на таком предприятии.

Мы также ничего не имеем против продажи патентов, лицензий, программных продуктов и ноу-хау и оказания любой помощи, если это необходимо на стадии отладки производства полупроводниковых приборов тому предприятию, которое приобрело бы у нас патенты или лицензии.

При наличии средств и заинтересованности производство можно наладить на любом работоспособном предприятии, имеющем стандартное технологическое оборудование и опыт производства полупроводниковых

приборов. Поскольку используется стандартная планарная технология производства полупроводниковых приборов, а предлагаемые приборы относительно просты с точки зрения их изготовления, можно утверждать после отладки себестоимость любого полупроводникового прибора определяется в основном геометрическими размерами используемой полупроводниковой подложки и в большинстве случаев меньше стоимости корпуса, в который заключен полупроводниковый прибор. К сожалению, мы не являемся специалистами по рынку, и не можем сказать, сколько потребуются тех или иных приборов в том или ином году. Поскольку выпуска приборов нет, а рынок придется на первом этапе формировать самим, думаю, что на этот вопрос никто сейчас не ответит. Мы считаем, что сейчас целесообразно провести НИОКР с целью выпуска приборов, обеспечивающих их конкретные применения и для их всестороннего изучения.

11. Состояние и источники инвестирования в реализацию проекта.

В настоящее время в проект вложено примерно 20 000 долларов США (большая часть - в патентование), половина - собственные средства, половина - помощь фирмы ФЕОКОН. Разработана технология изготовления приборов (см. приложение 4 на нашем сайте) и созданы экспериментальные образцы. За инвестициями не обращались. В настоящее время вопрос о кредитах нами серьезно не рассматривался. Со временем, если дело пойдет, возможно привлечение внешних инвестиций и после организации предприятия - участие инвестора в уставном капитале предприятия. В настоящее время мы не располагаем финансовыми средствами для развития и продолжения проекта.

12. Описание работ по реализации проекта.

Процедура изготовления прибора стандартна. Вначале выбирается технологический маршрут, исходя из возможностей и имеющихся уже отлаженных на предприятии, имеющем технологическую линейку, технологий. В соответствии с маршрутом изготавливаются фотошаблоны. Причем, желательно использовать уже опробированные на предприятии технологические режимы. В противном случае очень велик риск получения брака даже при изготовлении самых примитивных полупроводниковых приборов. Производятся необходимые расчеты. И дальше выполняется технологический маршрут. Маршрут, как правило, уточняется исходя из промежуточных измерений. Проводятся измерения характеристик полученных приборов. Без накладок обычно никогда не бывает. И дальше, как правило, надо думать - почему все получилось не совсем так, как хотелось бы. И все надо начинать сначала. Обычно только через две-три попытки (причем при наличии заинтересованности предприятия в результатах работы) удается получить результаты, близкие к ожидаемым. Время изготовления шаблонов примерно 1-2 месяца, время прохождения маршрута по изготовлению прибора управляемой емкости в идеале (если все работает) 1 месяц, на практике (в условиях Новосибирских предприятий) в 3-6 раз больше. Поскольку у нас нет денег, то в последнее время мы не обращаемся за услугами к полупроводниковым предприятиям. То есть, перечислить организации, которые будут привлекаться к выполнению проекта в нашей ситуации можно лишь при получении решения о выделении каких-то финансовых средств на НИОКР.

В качестве примера выполнения такой работы я предоставляю часть отчета о первом изготовлении управляемых емкостей в [приложение](#), см. также приложение 4 на нашем сайте.

13. Предстоящие затраты по проекту.

При отсутствии средств мы занимаемся только патентованием уже поданных заявок на изобретения и возможно некоторых новых национальных заявок .

В случае выделения какой-то премии на проведение НИОКР мы бы попытались изготовить экспериментальные образцы, готовые к конкретным применениям. А часть вложили бы в новые патенты и выделили бы средства на рекламу полученной продукции и патентов.

Конкретизация тех или иных расходов денег, которых у нас нет, возможна только при уверенности в получении финансовой поддержки.