

А.А.Баров, С.М.Гущин

ЗАО "НПФ "Микран", ОАО "НИИПП", г.Томск

Опубликовано в сборнике докладов Второй научно-технической конференции "Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем" проходившей 14-17 октября 2008г в г.Омске на базе ОАО "ЦКБА"

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ GaAs PIN ДИОДОВ

Приводится пример разработки и применения pin-диодных элементов от этапа изготовления полупроводниковой структуры до применения в СВЧ модулях.

В СВЧ технике pin-диоды применяются в качестве управляющих элементов. На их основе могут быть построены схемы электрически управляемых СВЧ аттенуаторов, коммутаторов и ограничителей СВЧ мощности [1,2]. Основная физическая сущность pin-диода заключается в «линейности» сопротивления на СВЧ в зависимости от тока прямого смещения. Величина сопротивления определяется величиной накопленного заряда (Q) в базе диода, которая в силу своей инертности не успевает значительно изменяться за период действия приложенной амплитуды СВЧ сигнала. Для инженерных приложений зависимость эффективного сопротивления pin-диода на СВЧ от параметров конструкции и полупроводникового материала описывается выражением:

$$R_s = \frac{t^2}{MQ}$$

где t - толщина базы i-слоя диода, M - суммарная подвижность электронов и дырок в i-слое диода, Q - накопленный заряд в базе диода. В свою очередь $Q = \tau_{эфф} I_{пр}$. Способность накапливать заряд в базе pin-диода характеризуется параметром эффективного времени жизни неосновных зарядов ($\tau_{эфф}$) обусловленная свойствами полупроводниковой структуры, на которой изготавливается диод. В следствии конечности $\tau_{эфф}$ pin-диоды теряют свои свойства на «низких» частотах, где период действия приложенного СВЧ сигнала становится меньше времени формирования заряда, вызванного постоянной составляющей тока прямого смещения ($I_{пр}$). Фактором, ограничивающим «линейность» эффективного сопротивления pin-диода является и амплитуда приложенного СВЧ напряжения. Другими словами, для нормальной работы pin-диода величина накопленного в базе заряда, обусловленная постоянной составляющей тока прямого смещения, должна быть больше переменной составляющей, обусловленной воздействием приложенного СВЧ сигнала.

В режиме запирания pin-диод моделируется емкостью, величина которой определяется конструкцией и на СВЧ не зависит от приложенного напряжения обратного смещения:

$$C_j = \frac{pS}{t}$$

где p - диэлектрическая постоянная материала, S - площадь p/n перехода, t - толщина базы i-слоя диода. Суммарная амплитуда приложенного напряжения к закрытому pin-диоду не должна превышать значения пробивного напряжения.

Разработке и исследованию параметров pin диодов посвящен ряд работ. Наиболее распространенными материалами для этих приборов являются кремний и арсенид галлия. При этом в быстродействующих оптоэлектронных и СВЧ устройствах несомненными преимуществами, с точки зрения, величины времени жизни неравновесных носителей тока и их подвижности, обладает арсенид галлия. В настоящее время, наиболее распространенным методом выращивания эпитаксиальных структур, содержащих p/n - переходы, является МОС-гидридная эпитаксия. При этом, выращивание структур для pin-диодов требует, как правило, достаточно высокой скорости роста эпитаксиальных слоев ($>5\text{мкм/ч}$) и низкого уровня концентрации остаточных примесей ($< 1 \times 10^{14} \text{см}^{-3}$) в случае МОС-эпитаксии получение таких параметров роста достаточно затруднено. В данной работе эпитаксиальные структуры

выращивались методом хлоридной газофазовой эпитаксии. Полученные структуры были двух типов: $N^+-N^{++}-i-P^+$ и $N_i-N^{++}-i-P^+$. В качестве подложек использовались пластины арсенида галлия разориентированные на 2^0 от плоскости (100) легированные теллуром и пластины полуизолирующего арсенида галлия АГЧП-2 аналогичной ориентации. Легирующие примеси в эпитаксиальных слоях донорного и акцепторного типа соответственно сера и цинк. Ростовыми компонентами служил металлический галлий чистотой 99.9999 и синтезированный трихлорид мышьяка двойной перегонки. Наиболее важными, с точки зрения характеристик прибора, параметрами эпитаксиальной структуры, являются распределение и концентрация носителей тока в высокоомном i -слое, а также их время жизни и подвижность. Толщина инжектирующих N^{++} , P^+ слоев в данной работе не менялась и составляла величину 3 и 2 мкм соответственно, концентрация носителей тока в N^{++} и P^+ -слоях $(2\div 3)\times 10^{18}\text{см}^{-3}$. Толщина высокоомного слоя варьировалась в пределах $4\div 6$ мкм, а концентрация электронов $5\times 10^{13}\div 2\times 10^{14}\text{см}^{-3}$. Измерения холловской подвижности электронов без учета рассеяния в i -слое дают величины $7000\div 7400\text{см}^2/\text{Вс}(300\text{К})$ и $47000\div 58000\text{см}^2/\text{Вс}(77\text{К})$. Оценка $\tau_{\text{эф}}$ производилась по величине времени восстановления сопротивления прямо смещенного диода после приложения обратного напряжения [3] и составляет величину $7\div 17\text{нс}$.

На этапе отработки технологии и определения зависимостей параметров прибора от параметров полупроводниковой структуры наиболее оптимальным является изготовление опытных образцов pin -диодов вертикальной конструкции. Для экспериментального определения эффективного сопротивления на СВЧ были изготовлены и опробованы диоды вертикальной структуры с диаметром мезы 60 мкм. Опытные образцы диодов монтировались в тракт СВЧ модуля по прямой схеме [4] и проводились испытания в двух состояниях: пропускания и запираия. Эффективное сопротивление рассчитывалось из состояния запираия согласно выражения для коэффициента передачи цепи (ISO) с шунтирующим двухполюсником:

$$ISO = 20Lg\left(1 + \frac{Z_0}{2R_s}\right), dB$$

где Z_0 - волновое сопротивление тракта. Среднее экспериментально-расчетное значение R_s в выборке из 10 диодов составило 0.75 Ом при токе прямого смещения 10 мА.

В результате проведенной работы получены опытные образцы pin -диодов, которые могут применяться в качестве коммутационных и ограничительных элементов в СВЧ тракте. Представленная работа, как и предыдущая [5], выполнялась в рамках внутренней ОКР.

Список литературы

- [1] Автоматические устройства СВЧ: Справочник/ В.Т. Царенко, В.В.Имшенецкий, М.М. Борисов – К.: Техника, 1983. –152с., ил. – Библиогр.: с.149-151.
- [2] Вайсблад А.В. Коммутационные устройства СВЧ на полупроводниковых диодах. - М.: Радио и связь, 1987. –120с.: ил. – (Массовая библиотека инженера "Электроника").
- [3] ГОСТ 18986.7-73 Методы измерения эффективного времени жизни неравновесных носителей заряда.
- [4] Полупроводниковые приборы. Сверхвысокочастотные диоды. Справочник/Б.А.Наливайко, А.С.Берлин, В.Г.Божков и др. Под ред. Б.А.Наливайко. - Томск: МГП «РАСКО», 1992 -233с.:ил.
- [5] Баров А.А., Гушин С.Н. GaAs МИС PIN ДИОДНОГО ДВУХПОЗИЦИОННОГО КОММУТАТОРА. Труды 16-ой Международной Крымской конференции “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” (КрыМиКо’2006). 11-15 Сентября, Севастополь, Крым, Украина. с.191-192