

06;12

Конструкция и технология изготовления арсенидгаллиевого монолитного $p-i-n$ -диодного ограничителя для миллиметрового диапазона длин волн

© В.В. Волков, В.П. Иванова, Ю.С. Кузьмичев, Ю.В. Соловьев

ЗАО „Светлана–Электронприбор“, С.-Петербург

В окончательной редакции 14 февраля 2005 г.

Предложены конструкция и технология изготовления монолитного диодного ограничителя миллиметрового диапазона длин волн на основе арсенидгаллиевых $p-i-n$ -диодов. Монолитный ограничитель обеспечивает защиту приемной аппаратуры — радиолокационной станции (РЛС) при импульсных мощностях входного сигнала до 100–200 W, при этом потери пропускания не превышают 1 dB, а вносимое затухание в режиме ограничения составляет 16–18 dB.

Для защиты входных цепей РЛС миллиметрового диапазона длин волн в микрополосковых, щелевых и других типах планарных линий на диэлектрической подложке широко используются полупроводниковые защитные устройства (ЗУ). Сравнительно малые габаритные размеры таких ЗУ позволяют решать проблему увеличения коммутирующих мощностей схемотехническим путем. Проблема дальнейшей миниатюаризации полупроводниковых ЗУ достаточно актуальна и в ряде случаев решается, как и у других классов полупроводниковых СВЧ-устройств, путем перехода к монолитным интегральным приборам, при изготовлении которых в едином технологическом процессе создаются все активные и пассивные элементы, а также участки линии передачи [1].

В коротковолновой области миллиметрового диапазона длин волн одной из основных трудностей при создании мощных полупроводниковых устройств являются малые размеры поперечного сечения волновода и невозможность монтажа в СВЧ-тракте большого количества дискретных приборов. Решить эту задачу возможно при комплексном подходе к проектированию устройств с использованием в качестве элементной

базы монолитных интегральных микросхем (МИС), которые являются составной частью волноводного СВЧ-тракта.

Переход к твердотельным многодиодным структурам, выполненным в виде окна, установленного поперек волновода, позволяет существенно упростить конструкцию и уменьшить стоимость ЗУ [1–6].

В ходе настоящей работы были разработаны монолитные $p-i-n$ -диодные ограничители, пригодные для работы в качестве элементной базы ЗУ. Приборы реализованы в виде монолитной планарной конструкции на полуизолирующей подложке с изоляцией воздушными мостами, которая позволяет реализовать малые размеры активной области ограничителя и обеспечить минимальные значения последовательного сопротивления и емкости прибора.

Конструкция монолитного $p-i-n$ -диодного ограничителя. Разработанный монолитный арсенидгаллиевый ограничитель представляет собой волноводно-планарную конструкцию, которая содержит в „объемном окне“ матрицу тонкобазных $p-i-n$ -диодов (толщина базы $h_{n(i)} = 1 \mu\text{m}$), выполненных в едином технологическом процессе на подложке монокристаллического полуизолирующего арсенида галлия с ориентацией $\langle 110 \rangle$, ограниченную золотым балочным выводом по периметру пьедестала.

Многодиодная матрица (рис. 1) состоит из двух параллельных диодных цепочек, каждая цепочка состоит из восьми последовательно включенных диодов. Внешнего смещения на самоуправляемую многодиодную структуру не подается.

Отвод рассеиваемой в диодах мощности производится через золотой балочный вывод по периметру структуры на корпус изделия.

Технология изготовления монолитного ограничителя. Эпитаксиальные структуры выращивались методом газофазной эпитаксии на полуизолирующей подложке арсенида галлия (АГЧП 8). $P-i-n$ -структуры имели следующие характеристики: толщина p^+ -слоя $0.3 \mu\text{m}$, уровень легирования $N_{p^+} = (1-2) \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$, толщина базового $n(i)$ -слоя $1 \mu\text{m}$, с уровнем легирования $N_{n(i)} = 1 \cdot 10^{13} \text{cm}^{-3}$, толщина скрытого n^+ -слоя составляла $5 \mu\text{m}$, а уровень легирования $N_{n^+} = 5 \cdot 10^{18} - 1 \cdot 10^{19} \text{cm}^{-3}$.

На всех этапах изготовления ограничителя при формировании металлизации омических контактов использовался метод „взрывной“ фотолитографии. Омические контакты формировались с использованием систем металлизации Cr/Au и AuGe-Ni-Au для p^+ - и n^+ -активных

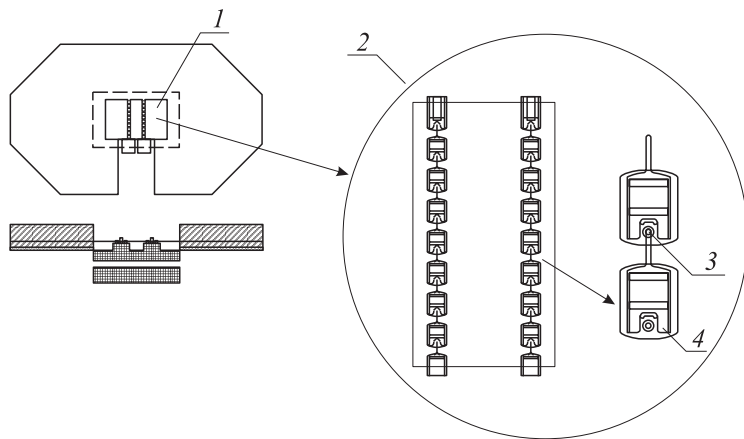


Рис. 1. Конструкция монолитного диодного ограничителя: 1 — монолитный $p-i-n$ -диодный ограничитель на GaAs, 2 — активная область ограничителя, 3 — омический контакт к p^+ -эпитаксиальному слою GaAs, 4 — омический контакт к n^+ -эпитаксиальному слою GaAs.

слоев соответственно с вжиганием при температуре 420°C в атмосфере водорода [7]. Для формирования „меза“-структур и травления до скрытого n^+ -слоя применялось жидкостное травление в перекисно-аммиачном травителе. Контроль глубины травления осуществлялся по пробивному напряжению поверхности эпитаксиального слоя между точечными контактами зондов. Травление „меза“-структур для ограничения p -области осуществлялось до $n(i)$ -слоя. Контроль электрофизических параметров омических контактов производился в процессе изготовления диодов с помощью метода „длинной линии“ (МДЛ). Удельное сопротивление p -контакта Cr/Au составило $\rho_c = 2-4 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$, а контактное сопротивление n -контакта AuGe-Ni-Au $\rho_c = 1-2 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}^2$. Защита приборов осуществлялась плазмохимическим осаждением двуокиси кремния с последующим вскрытием окон под контактные площадки. Интегральный вывод ограничителя формировался напылением металлизации Cr/Au с последующим гальваническим осаждением Au. Контроль последовательного сопротивления, барьерной емкости при нулевом смещении ограничителя проводится на рабочих кристаллах приборов. Для разделения пластины на кристаллы эпитаксиальная структура

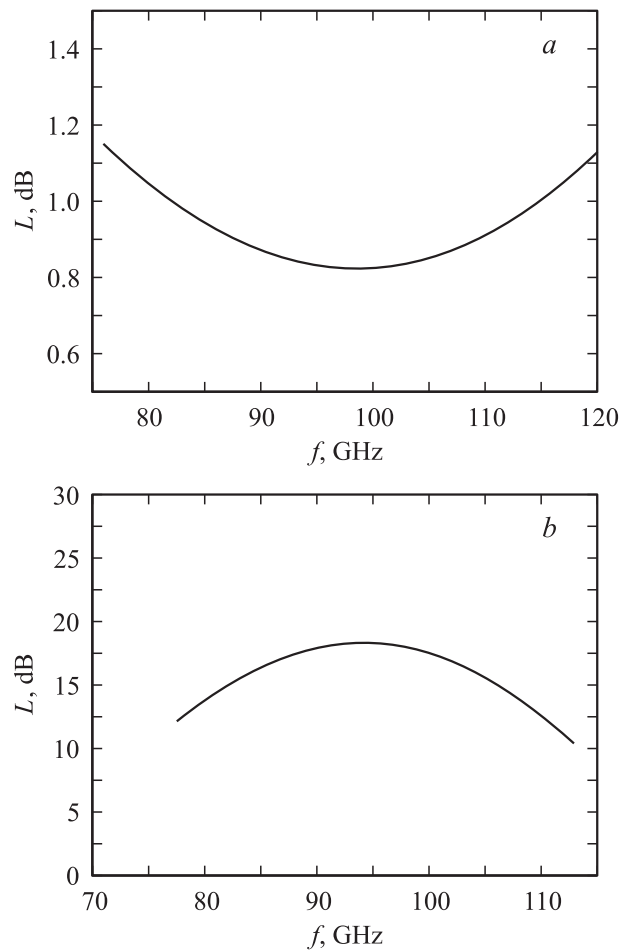


Рис. 2. СВЧ-характеристики монолитного $p-i-n$ -диодного ограничителя: потери пропускания ограничителя в режиме НУМ (a); потери запираания ограничителя в режиме ВУС (b).

утоњшалась до $30-40 \mu\text{m}$ при помощи химико-динамической полировки. Разделение пластины на кристаллы производится химическим травлением с использованием фотолитографии по обратной стороне подложки.

Результаты и обсуждение. Последовательное сопротивление диодной цепочки ограничителя при рабочем токе $I = 10$ mA составляло 31–33 Ω , пробивное напряжение $U_{dis} = 180$ –200 V (при рабочем токе $I = 10$ μ A) и емкость при отсутствии смещения $C^{(0)} = 0.002$ –0.003 pF. Как следует из представленных данных, разработанная технология обеспечивает высокую однородность параметров ограничителя, что особенно важно при реализации ЗУ на основе полупроводниковой элементной базы.

На высоком уровне мощности (ВУМ) монолитный p – i – n -диодный ограничитель на основе GaAs в частотном диапазоне $f = 92$ –94 GHz ($\lambda = 3$ mm) обеспечивает работоспособность при импульсных мощностях 100–200 W, потери пропускания при этом не превышают 1 dB (рис. 2, *a*), а вносимое затухание в режиме ограничения составляет 15–18 dB (рис. 2, *b*).

Таким образом, в работе разработаны конструкция и технология изготовления монолитного планарного p – i – n -диодного ограничителя на основе GaAs. Представленная технология обеспечивает воспроизводимость электрофизических параметров диодных цепочек и высокий процент выхода годных приборов. Параметры прибора на ВУМ отвечают требованиям работы полупроводниковых ограничителей в миллиметровом диапазоне длин волн.

Список литературы

- [1] Ропий А.М., Старик А.М., Шутов К.К. Сверхвысокочастотные защитные устройства. М.: Радио и связь, 1993. 128 с.
- [2] Кошечая С.В., Кищенко Я.И., Смойловский М.И. // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1989. Т. 32. № 10. С. 56–58.
- [3] Alekseev E., Pavlidis D., Ziegler V., Berg M., Dickmann J. // GaAs IC Symposium. 1998. P. 177–180.
- [4] Armstrong A., Anand Y. // IEEE Trans. 1983. V. 31. N 2. P. 238–241.
- [5] Putnam J., Fukuda M., Staecker P., Yun Y.-H. // IEEE. 1994. GaAs IC Symposium. P. 333–336.
- [6] Alekseev E., Pavlidis D., Dickmann J., Hackbarth T. // GaAs IC Symposium. 1996. P. 285–288.
- [7] Волков В.В., Малеев Н.А., Устинов В.М. // ФТП. 1999. Т. 33. В. 3. С. 1238–1243.