

УДК 621

Широкополосные аттенюаторы для монолитных интегральных схем СВЧ диапазона

Олейник М. В., к.т.н. доц. Кобак М.М.

Арсенид галлиевый (GaAs) полевой транзистор (MESFET) (Metal Semiconductor Field Effect Transistor) и арсенид галлиевый (GaAs), и фосфит - индиевый (InP) транзистор с высокой подвижностью электронов (HEMT) (High electron mobility transistor) успешно используются для аттенюаторов, показывающих отличные высокочастотные характеристики, небольшое рассеивание мощности на постоянном токе, и высокую скорость переключения [1, 2, 3, 4]. Однако, мощностные возможности СВЧ монолитных интегральных схем на традиционных соединениях АЗВ5 ограничены малой электрической прочностью этих материалов ($F_B = 0,4 - 0.5$ МВ/см).

Последние достижения в области технологии широкозонных полупроводников предполагают возможность использования GaN – транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT) для микроволновых монолитных интегральных схем (ММІС) для осуществления функций управления и усиления СВЧ сигналов [5]. Использование приборов с высоким уровнем пробоя позволяет улучшить управление мощности аттенюаторов [6]. При использовании AlGaN/GaN транзисторов с высокой

подвижностью электронов (HEMT) возможно увеличение выходной мощности при сохранении высокой частоты и широких динамических характеристик из-за высокой электрической прочности нитрида галлия ($F_b = 2$ МВ/см) и хороших транспортных свойств электронов. СЭМ – фото (сканирующая монолитная микроскопия) AlGaN/GaN транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT) (длина затвора 1мкм) представлена на рис. 1

В работе [7] впервые продемонстрирован широкополосный GaN - ММІС аттенюатор (π -конфигурации) на AlGaN/GaN HEMT с высокими динамическими и мощностными характеристиками, состоящий из одного AlGaN/GaN HEMT, подсоединенного последовательно к компланарной (когда 3 вектора лежат в одной плоскости) передающей линии и двух AlGaN/GaN HEMT, соединенных шунтом. (Рис.2).

Все три прибора имели затворы 1 мкм длины и 100 мкм ширины, а площадь СВЧ – монолитной интегральной схемы составляла ~ 1 мм². Независимые цепи смещения с переменными резисторами (RF-дроссели) также интегрированы на

чипе, так что напряжение смещения, управляющее импедансом НЕМТ транзисторов, может подаваться непосредственно к контактным площадкам смещения без нарушения высокочастотных характеристик микроволновых монолитных интегральных схем (ММИС). Смещающие резисторы (750 Ом каждый) формировались на AlGaN/GaN активных слоях, которые имели поверхностное сопротивление от 300 Ом/квadrat.

Формирование монолитных интегральных схем завершалось осаждением Ti/Au слоев, формирующих межсоединения, компланарно-волноводные линии передачи, земляные шины и площадки для СВЧ-тестирования.

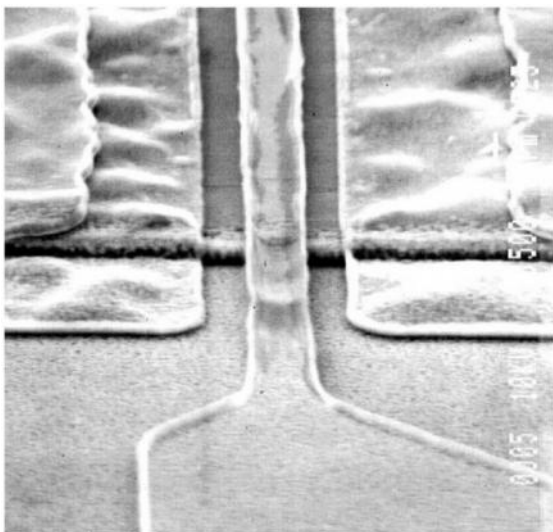


Рис. 1: СЭМ - фото AlGaN/GaNHEMT (AlGaN/GaN гетеро-эпитаксиальные слои формировались на сапфировой подложке методом газофазной эпитаксии с использованием металлоорганических соединений. Меза-структура формировалась

сухим травлением при использовании реактивно-ионного травления (CCl_2F_2) с помощью фоторезистивной маски с обеспечением пологости наружных стенок. Металлизация Ti/Al/Au/Pt использовалась для омических контактов истока и стока. Быстрый термический отжиг при температуре 900°C в азотной среде использовался для уменьшения контактного сопротивления до 1 Ом . мм. 1 мкм затвор формировался оптико-контактной литографией. Слои Pt/Ti/Au использовались для металлизации затворов.)

При нахождении ММИС π -аттенюатора в режиме «минимального затухания», канал последовательно соединённого НЕМТ открыт ($V_{G1} = 0$), в то время, как каналы шунтирующих транзисторов полностью обеднены ($V_{G2, G3} = -15\text{V}$). В состоянии «максимального затухания», канал последовательно соединённого НЕМТ обеднён ($V_{G1} = -15\text{V}$) в то время как импеданс шунтирующих транзисторов поддерживается на низком уровне ($V_{G2, G3} = 0$), чтобы обеспечить дополнительное ослабление.

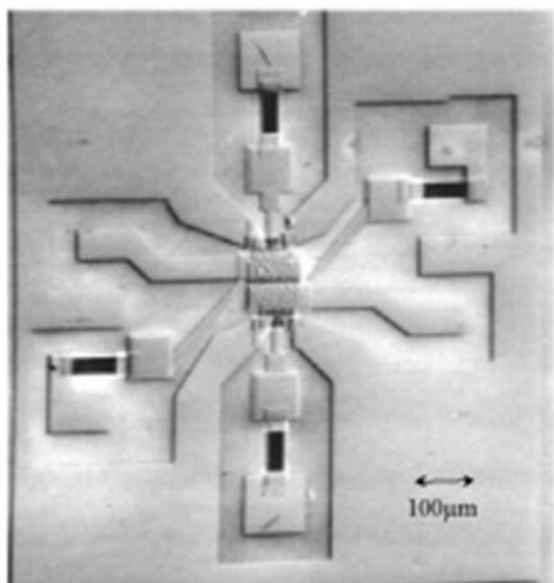


Рис. 2: СЭМ-фото GaN-микроволновых монолитных интегральных схемах (MMIC) π -аттенюатора.

Вносимые потери и согласование «минимального затухания» и «максимального ослабления» показаны на рис. 3. Минимальные потери составляли 4 дБ, и оставались меньше, чем 5 дБ до 18 ГГц. Исследованные схемы демонстрировали «максимальное ослабление» более 35 дБ до 22.5 ГГц.

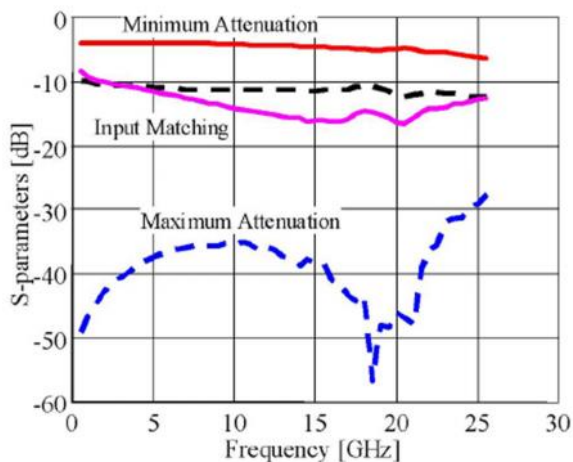


Рис. 3. Измеренные СВЧ -

характеристики MMIC π -аттенюатора на AlGaIn/GaN HEMT.

На основании измеренных малосигнальных S-параметров (параметров рассеивания) были получены значения элементов эквивалентных схем для $1\text{мкм} \times 100\text{мкм}$ AlGaIn/GaN транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT). Сопротивление открытого канала (R_{CH}) было 35 Ом, в то время как сопротивление полностью обеднённого канала (R_{DS}) было 600 Ом.

Согласование на входе было лучше 10 дБ для всех тестируемых частот и условий. Использование 100 мкм ширины затвора AlGaIn/GaN транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT) обеспечило малое изменение входного импеданса Z_{IN} для всех состояний аттенюации (между 33 и 72 Ом).

Высокий динамический диапазон сигнала ослабления (> 30 дБ) в широкой полосе пропускания (18 ГГц) стал возможен в GaN-микроволновых монолитных интегральных схемах (MMIC) из-за хороших высокочастотных характеристик AlGaIn/GaN транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT). Измеренные СВЧ - характеристики, эквивалентны тем, которые были получены для InP-HEMT MMICs [3], но обладают улучшенными мощностными характеристиками за

счет большей электрической прочности III - нитридов.

На рис.4. представлены мощностные характеристики AlGaIn/GaNHEMT MMIC π -аттенюатора. Работа MMIC была возможна при 1.6 Вт входной мощности в режиме непрерывного сигнала входной мощности, соответствующей плотности мощности более 15 Вт/мм на каждый транзистор. Это представляет собой 15-20 дБ улучшение возможности управления мощностью по сравнению с InP - микроволновых монолитных интегральных схемах (MMIC)[3].

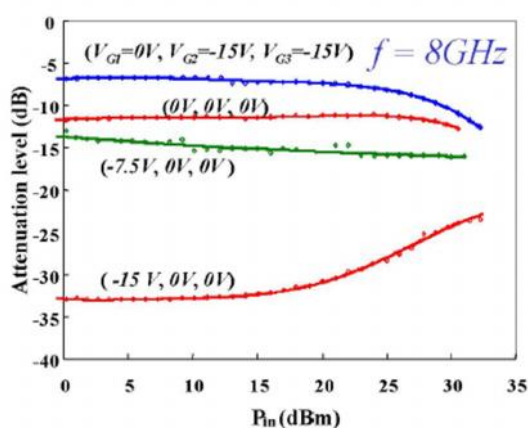


Рис. 4. Мощностные характеристики AlGaIn/GaN транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT) микроволновых монолитных интегральных схем (MMIC) π -аттенюатора.

Таким образом, можно сделать вывод, что монолитные аттенюаторы, реализованные с использованием AlGaIn/GaN транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT),

как элементов управления показывают широкополосность до 18 ГГц и высокий динамический диапазон (> 30 дБ) сопоставимый с InP- и GaAs- микроволновых монолитных интегральных схемах (MMIC), но обеспечивают значительно более широкие возможности управления мощностью (15Вт/мм).

Литература

1. D.Pavlidis, Y.Archambault, J.Magarshack, «Simple Voltage Controlled Phase Shifters and Attenuators for MMICs», IEEE GaAs IC Symposium, 1981.
2. J.L.Cazaux, D.Pavlidis, G.I.Ng, and M.Tutt, «AHEMT Monolithic Double Channel Attenuator with Broadband Characteristics and Wide Dynamic Range», 18th EuropMicrow. Conf, pp. 999-1004, Sep 1988.
3. G.Barta, K.Jones, G.C.Herrick, E.W.Strid, «A 2 to 8GHz leveling loop using a GaAs MMIC active splitter and attenuator», Proceedings of GaAs IC Symposium, pp 75-78, 1986.
4. M.Weiss, D.Pavlidis and G.I.Ng, «HEMT Control Circuits for Monolithic InP Applications», Proceedings of the 20th European Microwave Conference, Budapest, Hungary, pp. 429-434, Sep.1990.

5. [J.C.Zolper, «Progress towards ultra-wideband AlGa_N/Ga_N MMICs», Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics, Solid-State-Electronics.v.43, n.8; p.1479-82, Aug. 1999.
6. M. Shifrin, Y. Ayasli, P.J.Katzin, «Monolithic Control Components Handle 27W of RF Power», Microwave Journal, p 119-122, December 1989.
7. Alekseev, Egor, et al. "Broadband AlGa_N/Ga_N HEMT MMIC attenuators with high dynamic range." Microwave Conference, 2000. 30th European. IEEE, 2000.