

Технология изготовления пассивных элементов оптоэлектронных СВЧ-плат с воздушными мостовыми соединениями

Д.В. Бабошко, Е.В. Шестериков, А.А. Удалов

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН

634055, Томск, Россия, пл. Академика Зуева, 1, baboshkodv@iao.ru, evsh@iao.ru, udalov@iao.ru

В стандартной технологии оптоэлектронных плат в цепях фильтрации и разделения сигналов широко применяются дискретные кремниевые или керамические конденсаторы, применение которых сопровождается необходимостью монтажа проволочных перемычек методами сварки, что приводит к несогласованности с волновым сопротивлением микрополосковых линий ввиду нарушения планарности конструкции и частичного отражения СВЧ-сигнала. С целью устранения указанных недостатков в лаборатории радиофотоники ИОА СО РАН предложена технология изготовления пассивной части оптоэлектронных плат с тонкопленочными конденсаторами и воздушными мостовыми соединениями, изготовленными по планарной технологии на единой подложке в одном технологическом цикле с применением стандартных высокоэффективных методов магнетронного напыления и гальванического осаждения.

Ключевые слова: гибридные интегральные схемы, оптоэлектронные платы, воздушные мостовые соединения, радиолокационные системы; hybrid integrated circuits, optoelectronic boards, air bridge connections, radar systems.

Введение

На современном этапе развития радиолокационных и телекоммуникационных систем требуется создание компактных и высоконадежных оптоэлектронных модулей, включающих в себя активные и пассивные компоненты СВЧ тракта для управления оптоэлектронными компонентами, что требует разработки новых технологических приемов по миниатюризации компонентов и увеличения плотности монтажа. В частности, в согласующих цепях гибридно-монокристаллических интегральных схем широко используются дискретные конденсаторы, что негативно сказывается на частотных характеристиках из-за необходимости соединения компонентов при помощи проволочных соединений [1]. Более того, собственная индуктивность таких соединений становится существенной на частотах выше 10 ГГц. Альтернативной технологией формирования внутрисхемных межсоединений является внедрение воздушных мостиков (airbridges) на этапе изготовления плат с использованием стандартных методов фотолитографии с электронно-лучевым напылением требуемых комбинаций металлических слоев. Емкость стандартного воздушного мостика высотой более 0,1 мкм и площадью от 4 до 20 мкм² находится в пределах 0,02–0,05 фФ, тогда как погонная емкость копланарной 50 Ом линии составляет около 25 фФ. Таким образом, такой воздушный мостик практически не вносит искажений в распространение копланарной моды на частотах менее 100 ГГц [2]. Однако проблема использования данной технологии связана с существенным увеличением стоимости готовых изделий в связи с увеличением трудоемкости изготовления и большим расходом драгоценных металлов. Решением этой проблемы может послужить создание новой технологии формирования всех типов пассивных элементов (проводников, резисторов, конденсаторов) с воздушными мостиками по планарной технологии на одной подложке в едином технологическом цикле с применением стандартных методов магнетронного распыления, фотолитографии и гальванического осаждения.

Технология изготовления пассивной части оптоэлектронных плат

Первым этапом технологии является формирование топологического рисунка проводников и резисторов. Для этого наносили методом магнетронного напыления в вакууме композицию адгезионно-резистивного и проводящего металлов Та и Си в одном цикле при удельной мощности магнетронов 2,8 и 10 Вт/см² соответственно. Далее методом центрифугирования наносили фоторезист ФП-383 на скорости 2000 об/мин, экспонировали светодиодной лампой с интенсивностью излучения 15 мДж/см² и длиной волны 365 нм, проявляли. Затем жидкостным травлением формировали рисунок проводников, после чего методом гальванического осаждения на поверхность проводников наносили барьерный слой Ni с плотностью тока 0,1 мА/мм² и защитно-монтажный слой Au с плотностью тока 0,04 мА/мм². Фактический расход Au определяли по разнице веса подложки до и после гальванического осаждения. Расход составил 0,234 грамм. Далее центрифугированием наносили позитивный фоторезист ФП-25 на скорости 1800 об/мин, экспонировали с интенсивностью излучения 30 мДж/см², проявляли. После чего жидкостным травлением в резистивном слое формировали рисунок резисторов.

Вторым этапом является формирование диэлектрика конденсаторов методом обратной фотолитографии. Для этого центрифугированием наносили позитивный фоторезист ФП-25 на скорости 1600 об/мин, экспонировали, проявляли. Далее задубливали фоторезист при температуре 120 градусов на горячей плите в течение 5 мин, после чего подложка обрабатывалась в кислородной плазме в течение 180 с при мощности 300 Вт. Затем методом магнетронного напыления наносили слой Ta_2O_5 и проводили «взрыв» фоторезиста в диметилформамиде при температуре 120 градусов в течение 60 мин.

Третьим этапом технологии является формирование верхней обкладки конденсаторов и воздушных мостиков. Для этого центрифугированием наносили позитивный фоторезист ФП-25 на скорости 1800 об/мин, экспонировали, проявляли, нагревом при температуре 130–140 градусов течение 10 мин формировали куполообразную форму полоски фоторезиста. Поверх слоя позитивного фоторезиста наносили слой негативного фоторезиста ФН 16У, экспонировали с интенсивностью 30 мДж/см², проводили постэкспозиционный отжиг при температуре 110–115 °С в течение 10 мин для формирования отрицательного угла наклона боковых стенок фоторезистивной маски с целью повышения качества проведения последующей «взрывной» фотолитографии. Проявление осуществляли в безметалльном проявителе ПП-051МС в течение 1 минуты. Далее методом магнетронного напыления наносили композицию пленок адгезионного и проводящего слоя Ti и Cu воздушных мостиков. После чего методом «взрывной» фотолитографии удаляли металлические пленки, сформированные на фоторезистивном слое, в диметилформамиде при температуре 90–100 °С в течение 60 мин. Далее методом химического осаждения из дицианоауратного раствора при температуре 85–90 °С в течение 5 мин наносили защитное покрытие Au на проводящую пленку Cu. Температурный диапазон при химическом осаждении обусловлен тем, что при более высокой температуре раствор становится неустойчивым, а при более низкой – рост пленки происходит медленно. Расход Au определяли по разнице веса подложки до и после химического осаждения, при нанесении покрытия на металлизацию мостиков расход составил 0,04 грамм.

Ниже приведены иллюстрационные материалы, поясняющие результат предложенной технологии: микрофотография конденсатора и воздушных мостиков (рис. 1) и СВЧ-характеристики полученного конденсатора в сравнении с эталонной микрополосковой линией, сформированной в одном технологическом цикле с конденсатором и мостиками (рис. 2, 3).

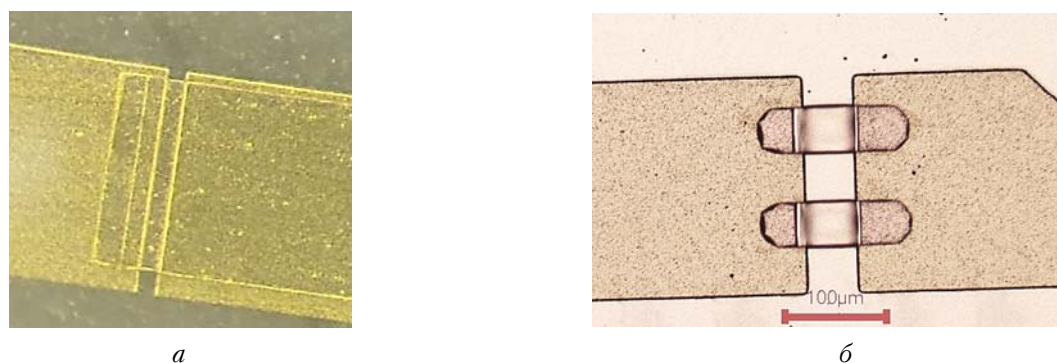


Рис. 1. Микрофотография конденсатора на микрополосковой линии (а) и воздушные мостики (б)

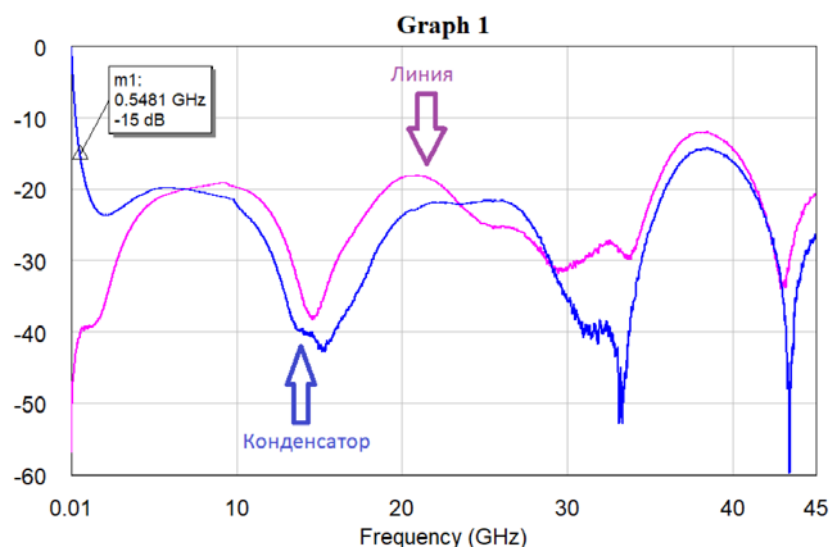


Рис. 2. Результаты измерения коэффициента отражения

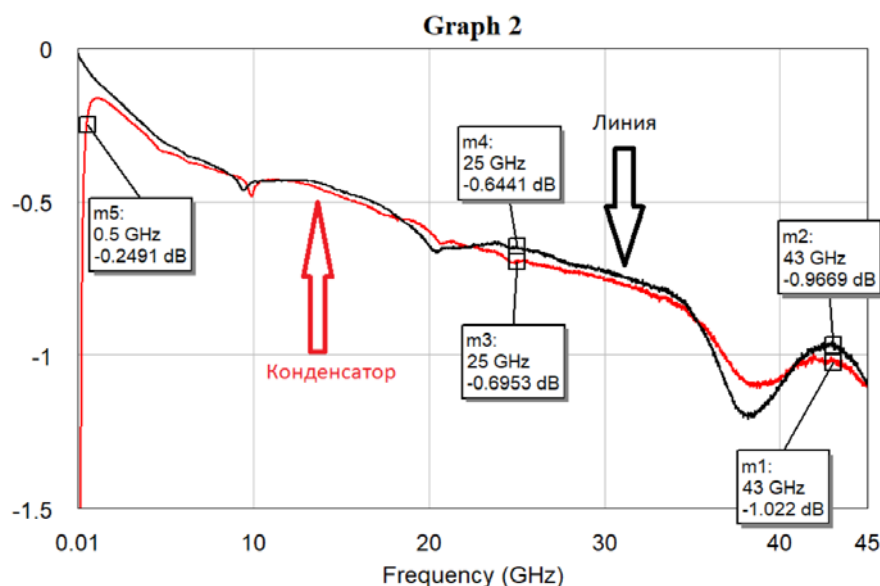


Рисунок 3 — Результаты измерения коэффициента потерь

Заключение

Предложенная технология позволяет: снизить трудоемкость при производстве многокаскадных СВЧ-модулей за счет изготовления пассивных элементов и воздушных перемычек в едином технологическом цикле; уменьшить расход золота при производстве микрополосковых плат с воздушными перемычками более чем в 10 раз за счет нанесения пленки драгметалла высокопроизводительными методами гальванического и химического осаждения, в то время как для формирования золотого покрытия, толщиной 0,3 мкм при электронно-лучевом испарении требуется не менее 4 грамм золота, кроме того, конструкционные особенности оборудования для магнетронного или термического испарения не позволяют проводить процессы одновременно на большом количестве подложек, что значительно увеличивает стоимость готовых плат. Основным отличием предлагаемой технологии от известных методов является нанесение всех топологических слоев (кроме защитного золотого покрытия) на установке магнетронного напыления, позволяющей формировать металлические и диэлектрические пленки и совмещать в одном цикле процессы нанесения проводящих слоев с резистивными, что позволяет сократить количество технологических операций. При этом отпадает необходимость в использовании дорогостоящего оборудования для плазмохимического осаждения/травления диэлектриков и электронно-лучевого напыления драгоценных металлов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН.

Список литературы

1. Хохлун А., Бейль В. Некоторые особенности технологии производства современных многокристальных микросборок и «систем в корпусе» типа МКМ-К // Технологии в электронной промышленности. 2011. № 4.
2. Способ изготовления воздушных мостиков в качестве межэлектродных соединений интегральных схем // Патент России № 2685082. 2019. Бюл. № 11 / Тарасов Михаил Александрович, Чекушкин Артем Михайлович, Юсупов Ренат Альбертович.

D.V. Baboshko, E.V. Shesterikov, A.A. Udalov. Manufacturing technology of passive elements of optoelectronic microwave boards with air bridges.

In the standard technology of optoelectronic boards, discrete silicon or ceramic capacitors are widely used in signal filtering and separation circuits, the use of which is accompanied by the need to install wire jumpers by welding methods, which leads to a mismatch with the wave impedance of microstrip lines due to a violation of the planarity of the structure and partial reflection of the microwave signal. In order to eliminate these shortcomings, the laboratory of radiophotonics of the IAO SB RAS proposed a technology for manufacturing the passive part of optoelectronic boards with thin-film capacitors and air bridge connections manufactured using planar technology on a single substrate in one technological cycle using standard highly efficient methods of magnetron sputtering and galvanic deposition.