



УДК 67.02

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.186.188

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ГИС MODERNIZING THIN-FILM HIC PRODUCTION

СУХАНОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ООО «Остек-ЭК»

121467, Россия, г. Москва, ул. Молдавская, 5, стр. 2

SUKHANOV DMITRIY A.

CJSC "Ostec-EC"

bld. 2, 5 Moldavskaya St., Moscow, 121467, Russia

Проведен анализ проблем, возникающих при производстве тонкопленочных гибридных интегральных схем (ТП ГИС). Проведено сравнение технологий производства, использующих метод контактной фотолитографии и метод прямого лазерного экспонирования, а также различных способов формирования тонких пленок. Подготовлено комплексное решение для модернизации производства ТП ГИС.

*Ключевые слова:* гибридная интегральная схема; тонкие пленки; прямое лазерное экспонирование; СВЧ.

The paper analyses the problems encountered in the production of thin-film hybrid integrated circuits (TF HIC) and compares production technologies, using the contact photolithography method and laser exposure, as well as different ways of forming thin films. A comprehensive solution for modernizing TF HIC production has been found.

*Keywords:* hybrid integrated circuit; thin films; direct laser exposure; microwave.

Для современного этапа развития радиоэлектроники характерно широкое применение интегральных микросхем во всех радиотехнических схемах. Это связано со значительным усложнением требований и задач, решаемых с помощью радиоэлектронной аппаратуры.

В настоящее время микроэлектронные устройства (рис. 1), изготовленные с использованием гибридных интегральных схем сверхвысокочастотного диапазона (ГИС СВЧ), в большой степени определяют техническую и экономическую эффективность приемопередающих систем цифровой радиосвязи, радиолокации и радионавигации.

Внедрение методов тонкопленочной технологии в процесс изготовления ГИС СВЧ позволило повысить точность изготовления при очень малых размерах элементов с распределенными параметрами. Возрастающие требования к характеристикам ГИС СВЧ и увеличение частотного диапазона до сотен гигагерц

заставляют разработчиков постоянно совершенствовать как конструкции, так и технологию.

Тонкопленочные технологии находят широкое применение в микро- и нанoeлектронике для изготовления изделий магнито-, крио-, оптоэлектроники и получения оптических покрытий различного назначения [1].

ГИС, произведенные по технологии тонкопленочных изделий, представляют собой в основном микрополосковые платы (рис. 2 [2, 3]), которые применяются при производстве различного рода устройств СВЧ-диапазона (активных: широкополосные мощные и маломощные усилители; передающих и приемных модулей; пассивных: фильтры, аттенюаторы, системы деления/суммирования, системы коммутации и т.д., а также для гибридных микросборок НЧ- и ВЧ-диапазонов и дискретных пассивных элементов (резисторов конденсаторов, индуктивностей)). ТП ГИС позволяют реализовать технические решения, которые обеспечивают устройствам высокую надежность [4].

Производство ТП ГИС подразумевает создание на диэлектрической подложке рисунка токопроводящих структур путем послойного нанесения тонких пленок различных материалов (рис. 3) с одновременным формированием из них микроэлементов и их соединений с помощью различных технологических процессов и установок. Укрупненный технологический маршрут производства ТП ГИС показан на рис. 4.

В силу ряда факторов, таких как применение устаревших технологий и оборудования, качество конечных



Рис. 1. Внешний вид узлов и модулей на основе ТП ГИС. Источник: [www.mwsystems.ru](http://www.mwsystems.ru)

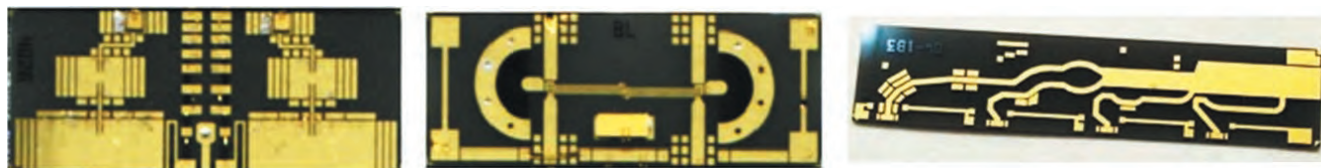


Рис. 2. Внешний вид ТП ГИС. Источник: [www.mwsystems.ru](http://www.mwsystems.ru)

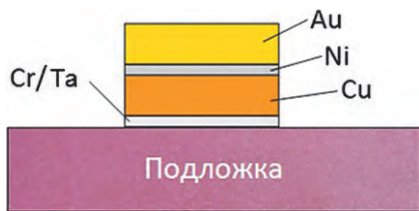


Рис. 3. Типовая структура слоев ТП ГИС

микросборок, получаемых на подложках, выполненных по тонкопленочной технологии, часто не соответствует современному уровню, предъявляемому к аппаратуре.

Анализ качества изделий выявил часто повторяющиеся фатальные производственные дефекты (рис. 4). Наличие показанных на изображениях рис. 5 дефектов контактирования, загрязнения частицами, нарушения целостности проводников и других дефектов приводит к выходу аппаратуры из строя в короткие сроки после начала эксплуатации.

Причинами этих дефектов являются: недостаточная подготовка поверхности керамических подложек перед основными технологическими процессами (очистка подложек), использование методов контактной фотолитографии (использование фотошаблонов), использование систем формирования тонких пленок (недостаточная адгезия тонких пленок), неудовлетворяющих современным стандартам производства.

Очистка подложек — технологический процесс, необходимый для подготовки поверхности подложки перед напылением тонких пленок. Это многостадийный технологический этап, включающий в себя как очистку в химических растворах, так и плазменную обработку. От качества обработки поверхности подложки зависит адгезия напыленных тонких пленок, что является критическим параметром при изготовлении ТП ГИС.

Решение для процесса очистки в химических растворах — использование полуавтоматической установки EVG 301 (рис. 6), которая позволяет проводить многостадийную и многокомпонентную очистку подложек в одной системе. Установка EVG 301 может быть укомплектована модулями мегазвукового распыления, очистки щеткой и очистки поверхностным излучателем, а также шестью линиями подачи реагентов, что обеспечит непревзойденное качество очистки.

Решение для процесса плазменной очистки — использование установки AP-1000 от Nordson March (рис. 7). Большое количество съемных держателей, источник питания с рабочей частотой 13,56 МГц и автоматической системой согласования обеспечивают не имеющий аналогов уровень технологического процесса. Гибкая архитектура полок-держателей предоставляет широкие

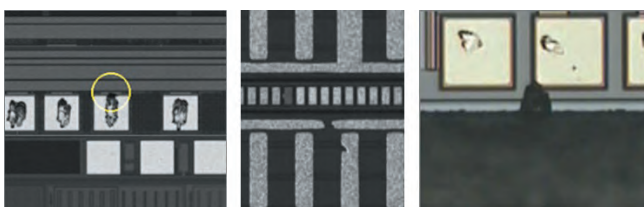


Рис. 5. Изображение типовых производственных дефектов ТП ГИС



Рис. 4. Укрупненный технологический маршрут ТП ГИС

возможности по ориентации обрабатываемых изделий, как единичных, так и групповых, что позволяет использовать установку во всех операциях плазменной очистки, которые входят в технологический процесс.

Бесконтактная фотолитография — технологический процесс, исключающий физический контакт с рабочей подложкой по средствам отказа от использования фотошаблона и заменой его на прямое лазерное экспонирование. Этот процесс позволяет упростить производство ТП ГИС и избежать ряда дефектов.

Решение для процесса прямого лазерного экспонирования — использование системы MiScan200 (рис. 8), которая представляет собой систему для формирования УФ-лучей для прямого экспонирования или микронанолитографии. В системе MiScan200 установлены различные функциональные оптические системы, которые применяются совместно с технологией пространственно-световой модуляции, поддерживающей формирование микроструктур, а также фазовые модуляторы света с интерференционной технологией для непосредственного написания наноструктур.

Установка MiScan200 позволяет создавать структуры размером до 0,5 мкм и разрешением до 0,1 мкм, при этом обладает высокой скоростью письма — до 1200 мм<sup>2</sup>/мин, большим



Рис. 6. Общий вид установки EVG 301



Рис. 7. Общий вид установки AP-1000



Рис. 8. Общий вид установки MiScan200

рабочим полем —  $250 \times 250$  мм и надежным источником излучения со сроком службы до 25000 часов.

Подтверждено, что края микрополосковой линии на ТП ГИС существенно влияют на потери при распространении сигнала. При этом они составляют примерно 30 % потерь для 50-омной микрополосковой линии на поликоровой подложке с  $\epsilon \sim 10$  несмотря на то, что их поверхность занимает ничтожно малую долю от общей поверхности металла в линии. Установлено, что шероховатость края полосковой линии значительно влияет на этот факт.

Наименьшие потери и разброс коэффициента затухания обеспечиваются в полосковых линиях, сформированных методом вакуумного напыления благодаря меньшей шероховатости верхней грани и более высокой проводимости напыленных слоев металла по сравнению со слоями, полученными гальваническими и химическими методами. Уровень потерь определяется соотношением толщины скин-слоя  $\Delta$  на всех гранях полосковой линии и толщинами ( $t$ ) покрытий на этих гранях. При  $\Delta < t$  уровень потерь низкий и постоянно воспроизводим на производстве. При  $\Delta > t$  уровень потерь высокий, а воспроизводимость процесса определяется точностью формирования толщин покрытия. Воспроизводимость и низкий уровень потерь в микрополосковых структурах, помимо удельного сопротивления и шероховатости края, определяются соотношением толщины слоев и точностью формирования покрытий и обеспечиваются при разбросе толщины покрытий менее  $\pm 5\%$  при условии, что толщина верхнего слоя покрытий на всех гранях полосковой линии превышает 2-3 скин-слоя [5].

Напыление тонких пленок — технологический процесс, посредством которого в вакууме на поверхности керамических подложек методом магнетронного распыления формируются тонкие слои металлов (Cu, Al, Ta, Cr, Ni и др.) и резистивных сплавов (РС-37-10 и др.).

Решение для процесса напыления тонких пленок — использование системы магнетронного распыления ТЕМП-74М (рис. 9), конструкция которой позволяет обрабатывать до 100 подложек за один цикл. Ключевой особенностью установки «ТЕМП-74М» является использование отработанного в серийном производстве процесса двухстороннего напыления, что позволяет получать непревзойденное качество напыленных слоев.

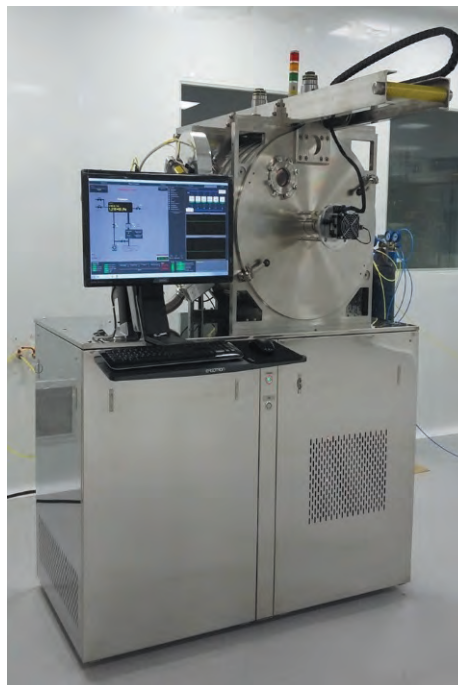


Рис. 9. Общий вид установки ТЕМП-74М

Учитывая специфику российского рынка микроэлектроники, от производителя требуется максимальная гибкость: возможность быстрой переналадки производства и способность быстро отработать технологические режимы, обеспечить производство широкой номенклатурой изделий, надежностью, стойкостью к дестабилизирующим факторам и отказоустойчивостью.

Комплексный подход к модернизации производства ТП ГИС, который предлагает ООО «Остек-ЭК», обладает рядом преимуществ благодаря линейке современного оборудования и контрактного производства ТП ГИС с опытом серийного производства продукции более 10 лет.

Готовое решение, предлагаемое «Остек-ЭК», поможет не только снизить себестоимость серийных изделий, но и реализовывать сложные проекты, требующие нестандартных технологических решений, а также избежать ряда технологических и технических проблем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Данилина Т.И. Технология тонкопленочных микросхем: Учебное пособие. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. — 164 с.
2. Гармаш С.В., Кищинский А.А., Маркинов Е.Г. Широкополосный транзисторный усилитель С-диапазона с выходной мощностью 10 Вт // 2009 19th Int. Crimean Conference «Micro-wave & Telecommunication Technology».
3. Доровских С.М. Применение технологии поверхностного монтажа в производстве гибридно-интегральных модулей СВЧ // Компоненты и технологии, 2006. — № 7. — С. 66–67.
4. Гармаш С.В., Кищинский А.А., Маркинов Е.Г., Радченко А.В., Суханов Д.А. Современные твердотельные СВЧ-модули... // Электроника наука: технология | бизнес, 2015. — № 6 (00146). — С. 82–89.
5. Климачев И.И. Разработка конструкции и технологии микрополосковых плат... Автореферат диссертации на соискание ученой степени к. т. н., Фрязино, 2005. — 26 с.