

УДК

Особенности производства ЛОВ субмиллиметрового диапазона

Ю.Ю. Филин, К.С. Именина, Н.М. Коломийцева, О.А. Арион, А.И. Панфилов.

АО «НПП «Исток» им. Шокина

Аннотация: в данной работе приведены особенности изготовления ламп обратной волны субмиллиметрового диапазона, выходные параметры полученных образцов, методика проведения динамических испытаний

Ключевые слова: лампа обратной волны, замедляющая система, пайка за счет покрытия, встречные штыри, химическая полировка, резонатор Фабри-Перо.

1. Введение

В конце 60-х начале 70-х годов на АО «НПП «Исток» им. Шокина» под руководством главного конструктора А.А. Негирева были разработаны 8 типов ЛОВ субмиллиметрового диапазона непрерывно перекрывающих диапазон 258-1400 ГГц.

Маломощные ЛОВ субмиллиметрового диапазонов применяются в основном, в спектроскопии, но имеют перспективы широкого применения в широкополосной связи, РЛС высокого разрешения, медицине.

В связи с кризисом 90-х годов выпуск ЛОВ субмиллиметрового диапазона был прекращен и за последующие 25 лет большая часть технологии их изготовления была утеряна.

В связи с возросшим интересом к приборам субмиллиметрового диапазона была проведена работа по восстановлению производства ЛОВ ОВ-65, с параметрами: $U_{зс}=1-4$ кВ; $I_{зс}=25-40$ мА; $N=7000$ Э; $R_{вых}=1-10$ мВт

2. Конструкция ЛОВ

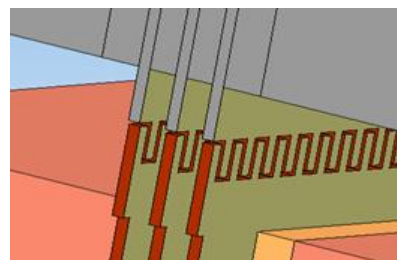
Конструкция ЛОВ ОВ-65 состоит из замедляющей системы (ЗС) типа «встречные штыри» с закрепленной на ней через изолятор электронной пушкой. Блок с ЗС с помощью направляющих устанавливается на вывод энергии, далее привариваются выводы и газопоглотитель, корпус заваривается. Вакуумный уплотнитель устанавливается в конце волновода и представляет собой молибденовый фланец с напаянным на него стеклом. Штуцера нужны для подключения водяного охлаждения во время динамических испытаний (ДИ).



а)



б)



в)

Рисунок 1. а) общая конструкция ЛОВ ОВ-65; б) внутренняя часть ЛОВ в) модель ЗС «встречные штыри»

Принцип работы ЛОВ заключается в длительном взаимодействии электронного потока и ЗС. Электронный поток, проходя ЗС, возбуждает в ней электромагнитную волну, распространяющуюся в направлении, обратном движению электронов. Под влиянием обратной волны образуются сгустки электронов, которые, проходя зазоры между пластинами ЗС, тормозятся электромагнитным полем и отдают ему свою энергию. Это условие выполняется, если время пролета сгустка между двумя соседними зазорами немного меньше половины периода колебаний. Повышение или понижение напряжения между катодом и ЗС уменьшают или увеличивают время пролета, следовательно, уменьшает или удлиняет период генерируемых колебаний.

3. Особенности сборки замедляющей системы

В ЛОВ ОВ-65 используется система замедления типа «встречные штыри», которая собирается из 9 пластин разной толщины. Прежняя технология подразумевала сборку пакета за счет клепок и механического уплотнения ручным прессом, но при попытках повторить технологию выяснилось, что в настоящих условиях обеспечить надежный и плотный контакт по всей плоскости пластин этим способом не представляется возможным, между пластинами остаются щели, куда попадают продукты электроискровой резки и создают затруднения при химической очистке.

Была проведена отработка изготовления пакета пайкой за счет покрытия. Сначала в качестве покрытия использовали ПЗл35 толщиной 1 мкм, наносимом на пластины, предназначенные для резки ЗС. Пакет в специальной оправке сжимался стальными винтами и выдерживался при температуре 500 °С 45 секунд. 45 секунд отсчитывались от начала расплавления припоя, контроль осуществлялся по глазу. Как выяснилось, наличие золота на пластинах создает проблемы как при электроискровой обработке (вырывы материала), так и при химической (при контакте с раствором пластины темнеют). На втором этапе отработки технологии в качестве покрытия использовали ПСр72 слой покрытия и время выдержки осталось неизменными.

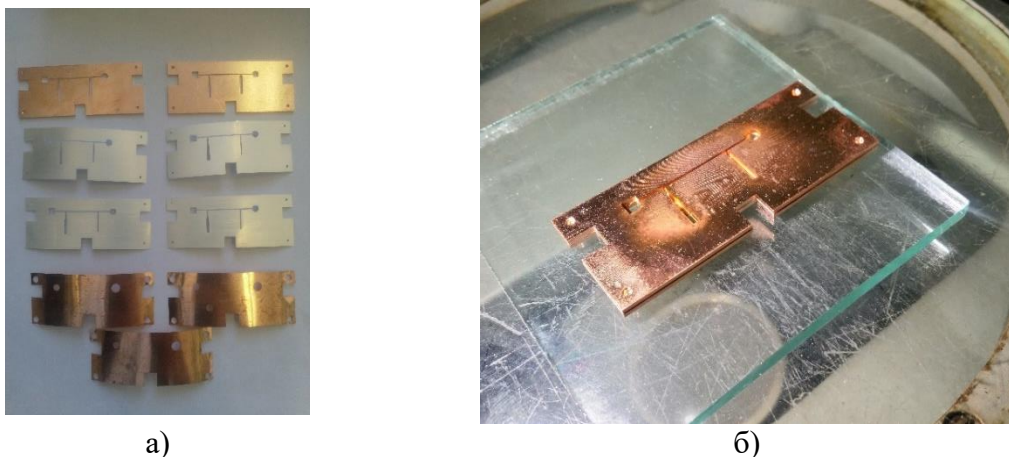


Рисунок 2. а) набор пластин для сборки пакета б) пакет после пайки

При проведении первых паяк за счет покрытия ПСр72, была замечена деформация, вызванная провисанием тонких медных пластин под своим весом при температуре пайки (780 °С) превышающей температуру отжига меди (750±20 °С. Для устранения этого дефекта была проведена работа по подбору режима пайки (снизили время выдержки до 5 секунд), также изменили положение оправки в печи (пакет из горизонтального положения стал ставится вертикально, для избежание нагрузки на тонкие пластины).

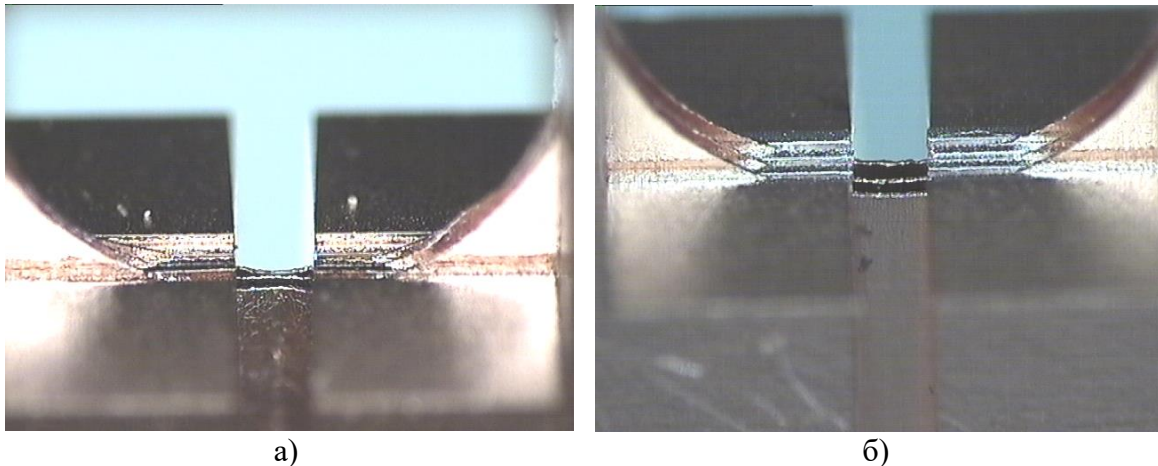


Рисунок 3. а) деформация пластин после пайки пакета в горизонтальном положении б) пакет после пайки в вертикальном положении без деформации.

При отработке процесса пайки удалось добиться равномерного спая по всей длине пластин без их деформации.

Следующим этапом изготовления является электроискровая резка, осуществляемая тонкой вольфрамовой проволокой толщиной 10 мкм. Во время нарезки ЛЗ, в место локального реза подается поток воды для снижения локального нагрева медных пластин и предотвращения их перегрева и деформации, а также удаления отходов электроискровой резки. [2]

Изготовленная линия замедления проходит двухэтапную химическую очистку, где на первом этапе удаляются отходы электроискровой резки, а на втором происходит полировка линии замедления «до блеска» и небольшой съем материала на штырях. [3]

Далее следует пайка с боковыми пластинами, заливка узла парафином, обрезка полученного блока до сборочных размеров, расточка отверстий для установки на вывод энергии и притирка поверхности, соприкасающейся с волноводом для обеспечения плотного контакта. Полученная система замедления имеет размеры 19,2 x 14 мм.

4. Сборка электронной пушки с блоком ЗС

При сборке ЗС с электронной пушкой необходимо обеспечить точное положение и расстояние катода относительно плоскости ЗС.

Для решения этой задачи была разработана специальная оправка сложной конструкции, обеспечивающая точность положения пушки относительно плоскости блока ЗС 10 мкм, с помощью системы фиксирующих винтов, так же во время сборки индикатором контролируется расстояние от катода до плоскости ЗС.

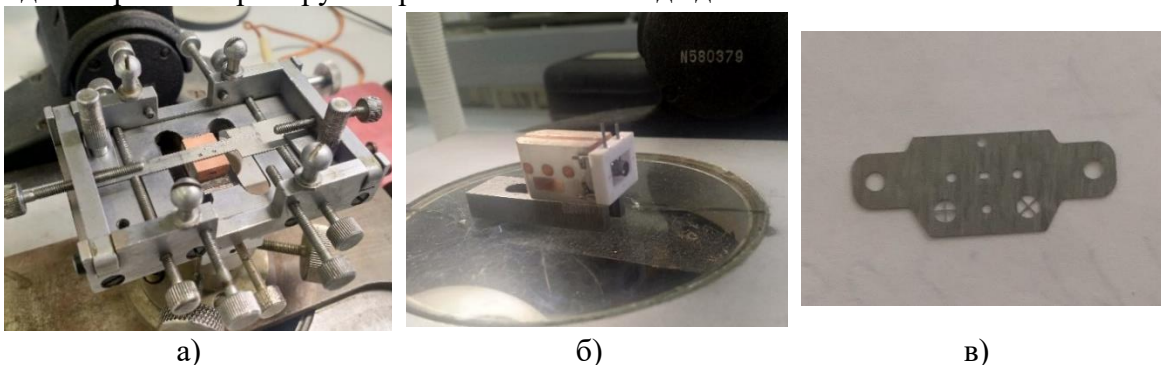


Рисунок 5. а) оправка с установленным в нее блоком ЗС; б) блок ЗС с установленной электронной пушкой в) пластина с реперными точками.

В начале сборки на оправку устанавливается блок ЗС, плоскость которого выравнивается по оправке и фиксируется винтами, далее на блок относительно плоскости устанавливается пластина с реперными точками и так же фиксируется в нужном положении. На электронную пушку также устанавливается и фиксируется пластина с реперными точками.

Далее, электронная пушка устанавливается на оправку с блоком ЗС, где с помощью фиксирующих винтов добиваются совпадения реперных точек разных пластин между собой, проверяется расстояние от катода до плоскости ЗС, если необходимо корректируется. После фиксации электронной пушки в оправке удаляются пластины с реперными точками, электронная пушка приваривается с помощью контактной сварки к блоку ЗС и готовый узел заваривается в корпус прибора.

5. Динамические испытания ЛОВ.

После операций откачки, высоковольтной тренировки и заливки прибор поступает на динамические испытания. Стенд для проведения динамических испытаний включает в себя: электромагнит для формирования магнитного поля, источник питания ЛОВ, система жидкостного охлаждения, юстировочную систему, ваттметр с балометрической головкой, термопару с индикатором, оптическую линейку с резонатором Фабри-Перо, установленном на микрометре.

После проведения дополнительной высоковольтной тренировки на испытательном стенде, необходимо осуществить поиск области генерации конкретного прибора.

Поиск генерации осуществляется путем юстировки ЛОВ в магнитном поле соленоида. Контроль токопрохождения осуществляется с помощью термопары, установленной на корпусе ЛОВ в месте оседания электронного потока. Первоначально подбирается положение ЛОВ для обеспечения максимального токопрохождения, при этом электронный поток проходит, отклоняясь от ЗС незначительно оседая на ней.

Затем положение ЛОВ незначительно меняется для направления электронного потока на ряды ЗС и подбирается ее положение для возникновения генерации. Выходная мощность измеряется с помощью ваттметра. После возникновения генерации проводится окончательная юстировка ЛОВ в магнитном поле соленоида для обеспечения максимальной выходной мощности во всем диапазоне рабочих напряжений.

Измерение частоты генерации осуществляется с помощью интерферометра Фабри-Перо (ИФП), который состоит из двух полупрозрачных зеркал, расстояние между которыми может изменяться с помощью микрометрического винта. ИФП прозрачен для излучения с длиной волны λ если расстояние d между зеркалами кратно половине длины волны:

$$d = \frac{\lambda}{2} n, \quad (1)$$

длина волны генерации определяется по формуле:

$$\lambda = 2 n \Delta d, \quad (2)$$

где Δd – изменение расстояния между зеркалами для 2-х ближайших зон прозрачности ИФП.

Для измерений длины волны выходной сигнал ЛОВ направляется на ИФП через рупорный излучатель и тефлоновую фокусирующую линзу. Мощность, проходящая через оптическую систему, фиксируется ваттметром.

После проведения всех испытаний снимаются амплитудно-частотные характеристики прибора при разных напряжениях накала, определяется режим по

питающим напряжениям.

Типовые характеристики ЛОВ ОВ-65 приведены на рисунке 8.

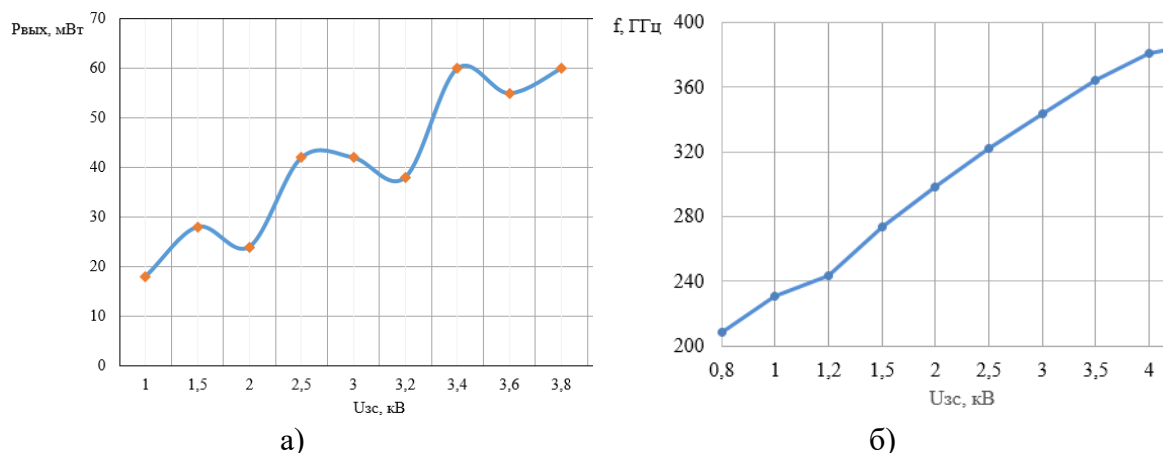


Рисунок 8. Характеристики ОВ-65 №7 а) зависимость выходной мощности от напряжения б) зависимость частоты от напряжения ЗС.

6. Заключение

На данный момент отработаны технологические операции изготовлению ЛОВ ОВ-65, получены рабочие образцы приборов. Внесённые по ходу работы изменения в технологию позволили:

- Проводить пайку пакетов для ЛЗ без зазоров между пластинами за счет покрытия;
- С высокой точностью ориентировать электронную пушку относительно влета блока ЗС с помощью пластин с реперными точками и специальной оправкой;
- Сократить время поиска зоны генерации, благодаря индикации перепада температуры в месте оседания электронного пучка.

Новые технологические решения были применены для ЛОВ с ЗС типа «встречные штыри», в дальнейшем возможна их корректировка и использование для более коротковолновых приборов.

Список литературы:

1. Негирев А.А., Федоров А.С. «Широкодиапазонные ЛОВ, непрерывно перекрывающие миллиметровый и субмиллиметровый диапазоны длин волн» 100 лекций по повышению квалификации ИТР, том 1, часть 2. М.: ФГУП «НПП «Исток», 2004 – 48-55 с.
2. Зубков Н.П., Зубков П.Н., Маренов И.Ю., Харабадзе Э.Т. «Особенности изготовления замедляющих систем для ЛОВ терагерцового диапазона» Мокеровские чтения. 11-я Международная научно-практическая конференция по физике и технологии наногетероструктурной СВЧ-электроники, 28 октября 2020 г.: сборник трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2020. – 43-44 с.
3. Мальшева Д.С., Трошин И.Ю. «Финишная очистка замедляющих систем для ЛОВ после электроискровой обработки из меди с размером элементов 25 × 25 мкм» Мокеровские чтения. 11-я Международная научно-практическая конференция по физике и технологии наногетероструктурной СВЧ-электроники, 28 октября 2020 г.: сборник трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2020. – 45-46 с.