

УДК 535.231.6

СВЕРХПРОВОДНИКОВОЕ МАТРИЧНОЕ ФОТОПРИЕМНОЕ УСТРОЙСТВО  
ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА

Агафонов В.И., Басараб М.А., Кулиш С.Н., Олейник В.В., Грицай В.Г.

Описана конструкция и топология матричного «64x64» фотоприемного устройства, выполненного на основе сверхпроводящих  $YBaCuO$  пленок. Представлен анализ особенностей технологии получения ВТСП пленок.

Известные температурные зависимости критических параметров сверхпроводников позволяют на их основе создать приемники среднего (10–100 мкм) и дальнего (100–2000 мкм) диапазонов инфракрасного излучения. Существенным недостатком этих приемников, до недавнего времени, была низкая рабочая температура (1...15К), необходимая для их функционирования. Однако, открытие высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП), а также успехи в получении тонких пленок, переходящих в сверхпроводящее состояние при температурах жидкого азота (78К) позволяют создать новый класс конкурентноспособных приемников ИК-излучения.

В результате проведенных нами исследований предложена конструкция многоэлементного матричного приемника ИК-излучения, а также отработаны технологические особенности получения ВТСП структур в данной конструкции.

Основными элементами конструкции являются:

- чувствительная зона, воспринимающая излучение;
- криотронный коммутатор, обеспечивающий последовательный опрос

всех болометров чувствительной зоны;

— горизонтальные и вертикальные шины выбора координат криотрона.

Чувствительная зона матричного приемника ИК-излучения представляет собой регулярную структуру, состоящую из 64 строк и 64 столбцов единичных элементов, соединенных между собой последовательно. Каждый единичный элемент матрицы представляет собой меандр размером  $330 \times 350 \text{ мкм}^2$  (см. рис. 1.). Ширина пленки

Чувствительный элемент в виде меандра



Рис. 1.

в меандре составляет  $10 \text{ мкм}$ , а ее толщина  $1500 \text{ \AA}$ . Материал пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ . Единичные элементы матрицы соединяются между собой последовательно путем напыления металлических площадок из меди, перекрывающих "хвосты" меандров. Вся чувствительная зона матричного приемника при этом имеет всего два вывода для снятия сигнала с матрицы.

Опрос элементов матрицы осуществляется последовательно при помощи криотронных коммутаторов, представляющих собой многослойную структуру. Конструктивно криотрон представляет собой меандр размером  $330 \times 100 \text{ мкм}^2$  с шагом  $40 \text{ мкм}$  и шириной пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$   $10 \text{ мкм}$ , толщина пленки  $1500 \text{ \AA}$ . С обеих сторон (снизу и сверху) через слои изоляции проложены металлические шины

коммутатора выборки, основанного на двухкоординатной выборке по строкам и столбцам. Управляющая шина выборки координаты  $x$  проложена под вентилем криотрона (64 криотрона). Ширина управляющей шины 100 мкм, а толщина 1500 Å, материал - Cu. Управляющая шина выборки координаты  $y$  проложена над вентилем криотрона и имеет вид меандра, с шагом 500 мкм, ширина шины 100 мкм. Такая конструкция криотрона наиболее эффективна, так как обе управляющие шины проходят под и над вентилем криотрона параллельно и создают складывающееся магнитное поле, легко переводящее вентиль криотрона в нормальное резистивное состояние. Вентиль криотрона единичного элемента приемной матрицы соединен с чувствительным элементом параллельно, при этом такие пары - вентиль криотрона и болометр соединяются в последовательную цепь, содержащую 4096 элементов. Выборка болометра осуществляется подачей на соответствующие шину  $X$  и шину  $Y$  сигналов, которые переводят вентиль криотрона  $XU$  в резистивное состояние. Ток опроса матрицы в исходном состоянии, когда все вентили криотронов и болометры находятся в состоянии сверхпроводимости, ограничиваясь внешними цепями, распределяется между параллельными ветвями вентиля криотронов и болометров, поэтому его величины недостаточно, чтобы опросить болометр. При переходе вентиля криотрона (после выборки координаты  $XU$ ) в резистивное состояние весь ток пройдет только по болометру, который мы опрашиваем. Величину тока мы подбираем так, чтобы действие магнитного поля, вызванное им, совместно с тепловым /изучаемым потоком привело к разрушению сверхпроводимости. Этот момент фиксируем - измеряем ток опроса и восстанавливаем тепловую энергию ИК-излучения, попавшего на  $XU$  элемент опрашиваемого болометра матрицы.

элемента матрицы. Материал -  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , критическая температура перехода  $T_c = 93$  К. Слой наносится методом магнетронного напыления с последующим отжигом в среде кислорода. Рисунок формируется прямой фотолитографией.

IV - слой изоляции с окнами под контактные площадки. Материал - окись магния,  $\text{MgO}$ . Слой напыляется методом вакуумного термического напыления. Рисунок формируется прямой фотолитографией.

V - слой болометров и вентилях криотронов. Материал -  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-n}$  с подслоем титаната стронция  $\text{SrTiO}_3$ , критическая температура перехода 78 К. Слой напыляется методом магнетронного напыления с последующим отжигом в среде кислорода. Рисунок формируется прямой фотолитографией.

VI - слой изоляции с окнами под контактные площадки. Материал титанат стронция  $\text{SrTiO}_3$ . Слой напыляется методом вакуумного термического напыления. Рисунок формируется прямой фотолитографией.

VII - слой проводников и контактных площадок. Материал -  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-n}$ , критическая температура перехода  $T_c = 93$  К. Слой напыляется методом магнетронного напыления с последующим отжигом в среде кислорода. Рисунок формируется прямой фотолитографией.

VIII - слой изоляции с окнами под контактные площадки и болометры. Материал - окись магния,  $\text{MgO}$ . Слой напыляется методом вакуумного термического напыления. Рисунок формируется прямой фотолитографией.

IX - слой горизонтальных управляющих шин коммутатора выборки элемента матрицы. Материал -  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-n}$ , критическая температура перехода  $T_c = 93$  К. Слой наносится методом магнетронного напыления с последующим отжигом в среде кислорода. Рисунок

формируется прямой фотолитографией.

X — слой изоляции с окнами под контактные площадки и болометры. Материал — окись магния,  $MgO$ . Слой напыляется методом вакуумного термического напыления. Рисунок формируется прямой фотолитографией.

XI — слой горизонтальных управляющих шин коммутатора выборки элемента матрицы. Материал —  $YBa_2Cu_3O_{7-n}$ , критическая температура перехода  $T_c = 93$  К. Слой наносится методом магнетронного напыления с последующим отжигом в среде кислорода. Рисунок формируется прямой фотолитографией.

XII — слой контактных площадок. Материал — хром. Слой наносится методом вакуумного напыления. Рисунок формируется прямой фотолитографией.

В качестве подложки используется титанат стронция  $SrTiO_3$ .

Отработка технологии получения тонких ВТСП пленок и структур.

Для достижения поставленной задачи нами был проведен аналитический обзор по выбору методов и способов получения тонких пленок, пригодных для применения в тонкопленочных приемниках ИК-излучения.

В качестве технологического оборудования был использован стандартный вакуумный пост ВУП-5 с дополнительными магнетронными НЧ и ВЧ блоками распыления. ВЧ блок настроен на рабочую частоту 1,65 МГц с регулируемой мощностью 50–250 Вт.

Для получения ВТСП пленок была использована шихта керамики  $YBaCuO$  (дисперсность 3 мкм), на основе которой были изготовлены мишени диаметром 38 мм методом горячего прессования с последующим отжигом при 970 °С в среде кислорода в течении 8 часов.

Мишень приклеивалась к магнетрону токопроводящим клеем.

В качестве подложки использован  $\text{SrTiO}_3$ . Напыление пленок осуществлялось в среде кислорода с аргоном в соотношении ( $\text{O}_2$  - 10%, Ar - 50%). Температура подложки при этом поддерживалась  $700^\circ\text{C}$ . После напыления образец отжигался.

Очень важным технологическим параметром, который определяет качество поверхности пленки  $\text{YBaCuO}$  и длительность процесса напыления является скорость распыления. Экспериментальные исследования показывают, что наиболее оптимальной с точки зрения производительности процесса следует считать скорость  $V = 2,5-5$   $\text{nm}/\text{min}$ . В результате проведенных исследований получены образцы ВТСП пленок на основе  $\text{YBaCuO}$  на подложке  $\text{SrTiO}_3$  (толщина подложки 0,3 мм, площадь 10 x 10 мм).

Параметры пленок: толщина - 1500 Å,  $T_c = 82$  К,  $dT = 5$  К,  
 $j_c = 10^3 - 10^5$  А/см<sup>2</sup>.

Таким образом, проведенный обзор по технологии получения тонких пленок, позволил обосновать выбор технологического оборудования, разработать технологию получения ВТСП мишени, разработать технологию получения тонких ВТСП пленок. Проведенные эксперименты по изготовлению отдельных элементов, однозначно подтвердили практическую реализуемость предложенной конструкции матричного фотоприемного устройства ИК диапазона.