

К. т. н. В. И. БОСЫЙ, В. П. КОХАН, Н. М. РАХМАНОВ

Украина, г. Киев, НПП «Сатурн»  
E-mail: chmil@jssaturn.kiev.ua

Дата поступления в редакцию  
23.04 2008 г.

Оппонент д. х. н. В. Н. ТОМАШИК  
(ИФП им. В. Е. Лашкарёва, г. Киев)

## ИСПАРИТЕЛЬ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В ВАКУУМЕ

*Разработан испаритель оригинальной конструкции, предназначенный для термического распыления материалов в технологических процессах изготовления СВЧ-транзисторов, диодов и монолитных схем.*

В настоящее время в электронной промышленности широко применяются термические способы распыления материалов, испарение которых происходит при температуре около 2000°С. Предпочтение отдается резистивному нагреву.

Серийные вакуумно-напылительные установки (типа УВР-71 ПЗ, УРМЗ.279.011 и др.) оснащены устройствами резистивного испарения. Испарители для конкретных задач применяются в технологических процессах как технологическая оснастка.

Предлагается разработанный и внедренный в производство оригинальный и простой по конструкции испаритель, который успешно эксплуатируется в технологическом процессе изготовления арсенид-галлиевых транзисторов, диодов и монолитных схем.

Конструкция испарителя представлена на рисунке.

Как видно, испаритель состоит из ленточного нагревателя, на который через токовводы подается напряжение, тигля, как емкости для испаряемого материала, и фиксирующего кольца.

Оригинальным решением в конструкции испарителя является прессовая посадка тигля на ленточный нагреватель и фиксирующего кольца на тигель, что обеспечивает плотный электрический и тепловой контакт всех его элементов.

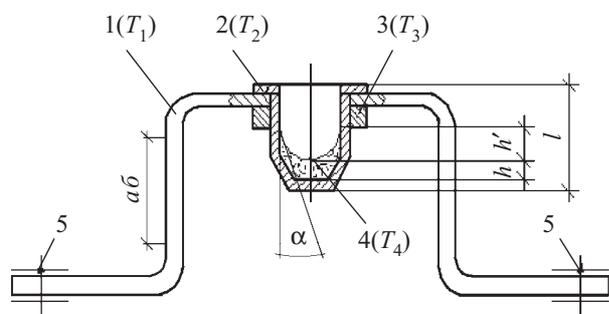


Рис. 1. Конструкция испарителя и температура его элементов:

1 — ленточный нагреватель; 2 — тигель; 3 — кольцо фиксирующее; 4 — навеска испаряемого материала; 5 — медные токовводы

Распределение температуры в испарителе при заданном токе определяется соотношением масс тигля (с находящейся в нем навеской материала) и фиксирующего кольца.

Нашей задачей было реализовать следующее распределение температуры:

$$T_1 > T_2 > T_3 > T_4,$$

$$T_4 = T_{\text{исп. материала}}$$

Задача решалась экспериментально. Температура на элементах испарителя определялась оптическим пирометром.

В испарителе с таким температурным режимом испарений материал не будет конденсироваться в зоне буртика тигля, т. к.  $T_2 > T_4$ .

Такое распределение температуры поддерживаетс­я автоматически — при испарении материала уменьшается температура расплава, а ленточный нагреватель сообщает тепловую энергию в область «фиксирующее кольцо — буртик тигля» и компенсирует уменьшение температуры расплава. При этом расплав материала не расплескивается («запирается») в нижней части тигля. Особенно благоприятен эффект «запира­ния» расплава при распылении сплавов, а в случае эвтектических сплавов испарение происходит без нарушения стехиометрии.

### Особенности конструкции испарителя

Нагреватель 1 — лента из тугоплавкого металла (W, Ta, Nb, Mo) — разогревается проходящим через него током.

Участок ленты *ab* с максимальной температурой  $T_1$  является источником тепла для всех элементов испарителя.

В нижней части тигля температура  $T_4$  равна температуре испарения помещенного в него материала.

Длина ленты определяется требованием создать необходимый перепад от температуры токовых выводов до максимальной температуры на участке *ab*.

Тигель 2 — емкость с буртиком, на дно которой помещают испаряемый материал — должен быть тонкостенным для того, чтобы создать градиент температуры между дном тигля (расплавом) и буртиком. Малая масса тигля дополнительно обеспечивает малую тепловую инерционность испарителя. Скорость испарения легко регулировать напряжением питания ленточного нагревателя. С другой стороны, стенки должны надежно удерживать расплав.

Глубина тигля  $l$  определяется из условия:

$$l > h + h',$$

где  $h$  — высота расплава, определяется количеством загруженного материала;

$h'$  — высота поднятия расплава силами поверхностного натяжения.

Величина  $h'$  известна из [1]:

$$h' = a\sqrt{1 - \sin \alpha},$$

где  $a$  — капиллярная постоянная расплава испаряемого вещества;  
 $\alpha$  — краевой угол.

На рисунке показан случай, когда расплав смачивает материал тигля.

Кольцо 3 фиксирует тигель на ленточном нагревателе, что обеспечивает их электрический и тепловой контакт, формируя тем самым заданное распределение температуры.

Для примера рассмотрим технологические особенности изготовления испарителя для напыления золота. Нагреватель представляет собой молибденовую ленту шириной 20 мм, толщиной 0,3 мм. На участке ленты длиной 60—80 мм создается перепад температуры от температуры испарения золота  $T_4 = T_{\text{исп. золота}} = 1500^\circ\text{C}$  [2] на дне тигля до температуры токовыводов  $\approx 40^\circ\text{C}$ . Самая высокая температура  $T_1$  наблюдается на участке  $ab$  ленточного нагревателя  $T_{ab} \approx 1700^\circ\text{C}$ . Тигель изготавливается из монокристаллического молибдена ТУ 48–19–257–83. Физико-механические свойства материала позволяют выполнить боковую стенку тигля толщиной 0,8 мм. При такой толщине

стенки явно выражен необходимый градиент температуры и малая инерционность.

Прочность монокристаллического молибдена обеспечивает длительную эксплуатацию испарителя, а глубина тигля  $l \approx 10$ —12 мм позволяет удерживать до 5 г золота.

Капиллярная постоянная расплава золота  $a = 0,35$  см [3]. Золото и его сплавы хорошо смачивают молибден.

Для изготовления фиксирующего кольца можно использовать молибден МЧВП. Все элементы испарителя, в нашем случае, выполнены из молибдена. Рабочий диапазон температуры испарителя 1500—1700°C находится в области допустимой для молибдена температуры [2, с. 230].

Достоинствами предлагаемого испарителя являются отсутствие сварных соединений, чистота технологического процесса. Распыляемый материал удерживается в нижней части тигля и не контактирует с другими элементами испарителя.

Долговечность испарителя определяется конструкцией, выбором материала и подтверждается длительной его эксплуатацией при производстве СВЧ-приборов из современных материалов для электронной техники (СВЧ-транзисторов, диодов и монолитных схем).

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ.

1. Ландау Л. Д., Лившиц Е. М. Гидродинамика. — М.: Наука, 1986.
2. Справочник по вакуумной технике и технологии / Под ред. Ф. Розбери. — М.: Энергия, 1972.
3. Фогель А. А. Метод удержания жидких металлов во взвешенном состоянии. — Л.: Машиностроение, 1979.

#### НОВЫЕ КНИГИ

#### НОВЫЕ КНИГИ

**Соловьев В. В., Климович А. Логическое проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем. — М.: Горячая линия – Телеком, 2008. — 376 с.**

Посвящена проблемам логического проектирования отдельных цифровых устройств на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Показано место логического проектирования в общем процессе разработки цифровой системы, отмечаются особенности логического проектирования на основе ПЛИС. Предлагаются методы синтеза комбинационных схем, конечных и микропрограммных автоматов, позволяющие эффективно использовать архитектурные особенности ПЛИС, а также учитывать системные требования. Представлены новые модели конечных автоматов, позволяющие значительно снизить стоимость реализации и повысить быстродействие последовательностных устройств, а также учитывать местоположение конечного автомата в цифровой системе. Рассматриваются также вопросы верификации результатов синтеза и выбора наиболее эффективного метода синтеза. Описывается пакет ZUBR, в котором реализованы предлагаемые методы синтеза.

Изложение материала сопровождается большим числом примеров. Преимущество предлагаемых методов синтеза подтверждается результатами экспериментальных исследований. Для специалистов, разработчиков цифровых систем, может быть использована в качестве учебного пособия для студентов и аспирантов.

