

К. т. н. А. Н. ГОЛОВЯШКИН, Д. В. ЛЕЖНЕВ

Россия, Пензенский государственный университет
E-mail: micro@diamond.stup.ac.ru

Дата поступления в редакцию
25.10 2000 г.

Оппонент к. т. н. А. И. ВОРОЖБИТОВ

ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК МЕДНО-ЦИНКОВЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА В ВАКУУМЕ

Приведены технологические режимы получения тонких пленок, описание технологического оборудования и оснастки для автоматизации процесса вакуумного напыления.

В настоящее время все вакуумные методы получения тонких пленок группируются в четыре основных класса: термовакuumные, импульсные, ионного распыления и ионного осаждения. Каждый класс вакуумных методов имеет свои преимущества и недостатки, а также достаточно большое число возможных способов реализации. Поэтому выбор оптимального метода вакуумного напыления в полной мере определяется только всей совокупностью требований технического задания. В данной работе основными требованиями являлись:

- обеспечение высокой чистоты процесса напыления пленок металлических сплавов в условиях сверхвысокого вакуума;
- высокая степень воспроизведения стехиометрического состава и основных характеристик получаемых пленок;
- качественная адгезия к диэлектрическим подложкам;
- простое аппаратное исполнение на базе серийных вакуумных установок.

В качестве дополнительных требований ставилась задача разработки схемы рабочей камеры вакуумной установки для автоматизации технологического процесса напыления.

Как показал анализ, наиболее полно поставленным требованиям удовлетворяет электрический взрыв в вакууме, который относится к импульсным методам напыления.

Испарение материала электрическим взрывом происходит в результате интенсивного выделения теплоты при прохождении тока высокой плотности через образец (рис. 1). Поэтому данным методом нельзя распылять диэлектрические материалы, а взрывааемый образец не должен быть излишне массивным. На практике применяются образцы в виде фольги, проволоки и проводящих пленок, нанесенных на диэлектрические подложки. Характерная толщина (или диаметр) образцов составляет 0,01 – 0,1 мм. Для обеспечения интенсивности объемного источника тепла на уровне $\approx 10^{12}$ Вт/г применяют

разряд высоковольтной малоиндуктивной конденсаторной батареи.

Для получения воспроизводимых характеристик тонких пленок необходимо проводить процесс в режиме быстрого взрыва (за время $10^{-8} \dots 10^{-7}$ с). Метод характеризуется высокой скоростью роста пленки ($10^7 - 10^8$) нм/с, исключительной чистотой получаемых пленок и большой энергией конденсирующейся плазмы. Последнее может приводить к значительному разогреву подложки вплоть до реиспарения конденсата.

Чистота тонких пленок в данном методе обеспечивается двумя обстоятельствами:

- возможностью проведения процесса в условиях сверхвысокого вакуума;
- исключением разогрева материалов элементов конструкций с одновременным обеспечением интенсивного нагрева только материала образца.

Импульсные методы характеризуются коротким временем испарения и высокой интенсивностью поглощения тепловой энергии веществом ($10^{11} \dots 10^{13}$ Вт/г), в результате чего возможно получение пленок толщиной от 10^{-2} до 1 мкм однократным импульсным испарением.

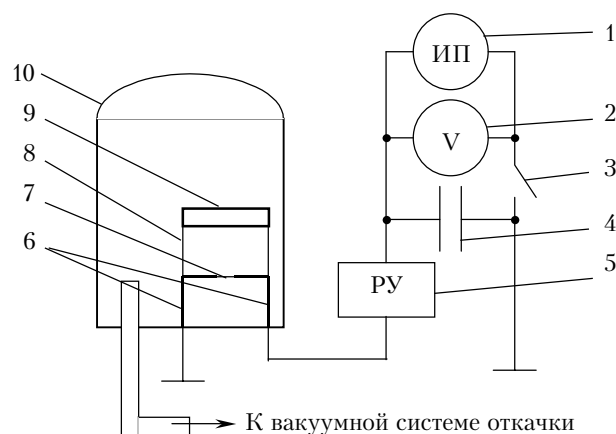


Рис. 1. Техническая реализация метода электрического взрыва:

- 1 – источник питания; 2 – вольтметр; 3 – ключ управления зарядкой конденсаторной батареи; 4 – конденсаторная батарея; 5 – разрядное устройство; 6 – электроды испарителя; 7 – испаряемый материал; 8 – изоляционные подложкодержатели; 9 – подложка; 10 – рабочая камера

Указанные выше особенности позволяют с одинаковым успехом получать тонкие пленки как простых, так и сложных веществ. Различные способы реализации импульсных методов позволяют испарять любые вещества вне зависимости от их температуры кипения, электрофизических свойств и летучести компонентов. Поскольку испарение всех компонентов вещества в момент электрического взрыва происходит одновременно, то химический состав исходной твердой, а затем газовой и конденсированной фаз идентичен. Поэтому макро- и микроструктура получаемых пленок мало зависят от исходной фазы и условий осаждения. Характер распределения тонких пленок по толщине зависит от геометрических особенностей испаряемого образца или испарителя. Получение заданной толщины пленки достигается контролем массы исходного испаряемого образца.

Метод электрического взрыва реализован на базе вакуумной установки УВН-71-П-3. В качестве источника питания использован блок ионной очистки, который при подключении к конденсаторной батарее работает в режиме источника напряжения. Его максимальное напряжение достигает 3 кВ.

Конденсаторная батарея C_1 (рис. 2) при замыкании ключа K_2 подключается к источнику питания E_1 . Напряжение зарядки на конденсаторной батарее контролируется миллиамперметром, который включен последовательно с нагрузочным сопротивлением R_2 . При достижении заданного напряжения зарядки на конденсаторной батарее ключ K_2 размыкается и миллиамперметр отсекается от конденсаторной батареи. Затем, при замыкании кнопки K_3 , разряд через управляющий тиристор VD_5 подается на испаряемый материал R_3 . Блок управления тиристором состоит из Tr_1 , выпрямляющего диодного моста $VD_1 - VD_4$ и кнопки K_3 .

При испарении материала (исчезновении R_3) иногда происходит неполная разрядка конденсаторной батареи, и напряжение, остающееся на ней, достигает величины 100 – 250 В. Для безопасности нужно ее разрядить. Для этого предназначена цепь, ко-

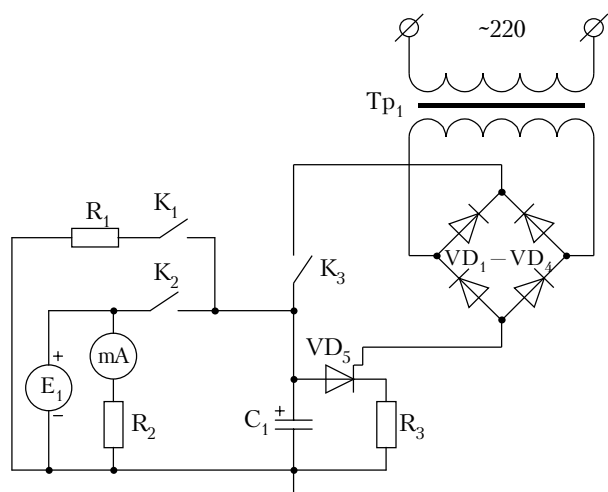


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная разрядного устройства

торая состоит из резистора R_1 и ключа K_1 . При замыкании ключа K_1 конденсаторная батарея C_1 разряжается через R_1 на "землю".

Проведенные исследования химического состава исходного медно-цинкового сплава и полученных пленок методом рентгенофлуоресцентного анализа на установке VRA-20R показали их практически полное совпадение (с точностью до 0,5%). Аналогичные пленки, полученные термовакuumным испарением, имеют отклонения от заданного стехиометрического состава в пределах 10 – 15%. Кроме того, на рентгенограммах появляются пики отражения, связанные с наличием загрязнений от испарителя и остаточной атмосферы. (При напылении пленок методом электрического взрыва влияние остаточной атмосферы в вакуумной камере уменьшается благодаря малому интервалу времени осаждения материала.)

Схема разработанного варианта автоматизированной установки представлена на рис. 3.

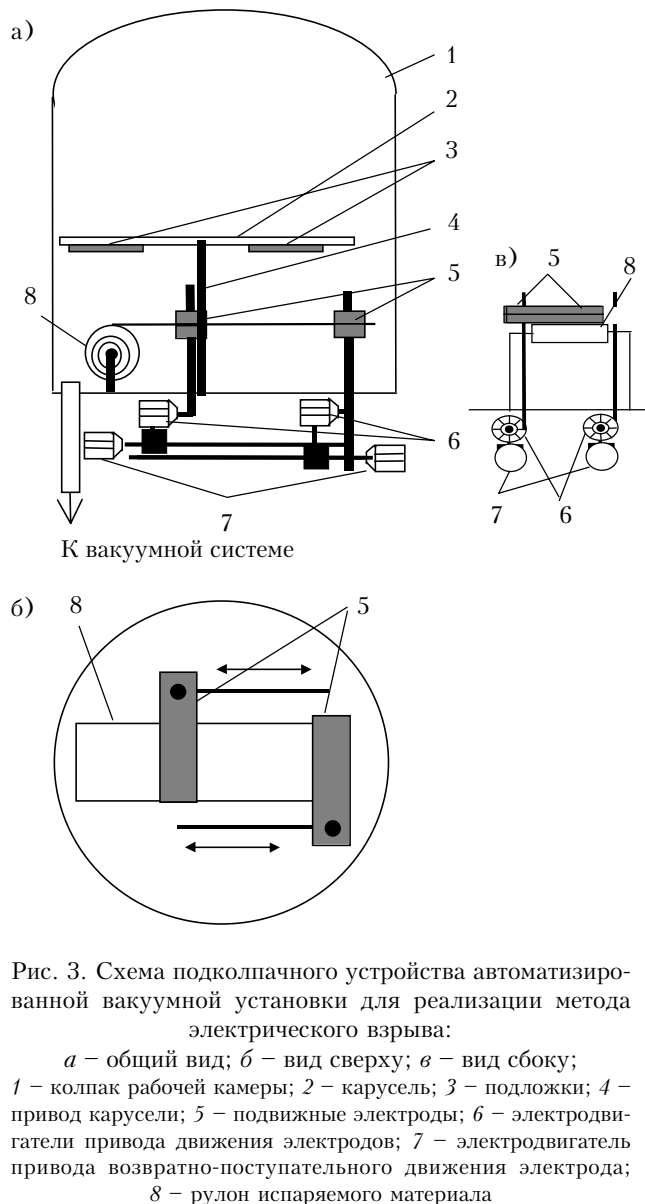


Рис. 3. Схема подколпачного устройства автоматизированной вакуумной установки для реализации метода электрического взрыва:

а – общий вид; б – вид сверху; в – вид сбоку;
1 – колпак рабочей камеры; 2 – карусель; 3 – подложки; 4 – привод карусели; 5 – подвижные электроды; 6 – электродвигатели привода движения электродов; 7 – электродвигатель привода возвратно-поступательного движения электрода; 8 – рулон испаряемого материала

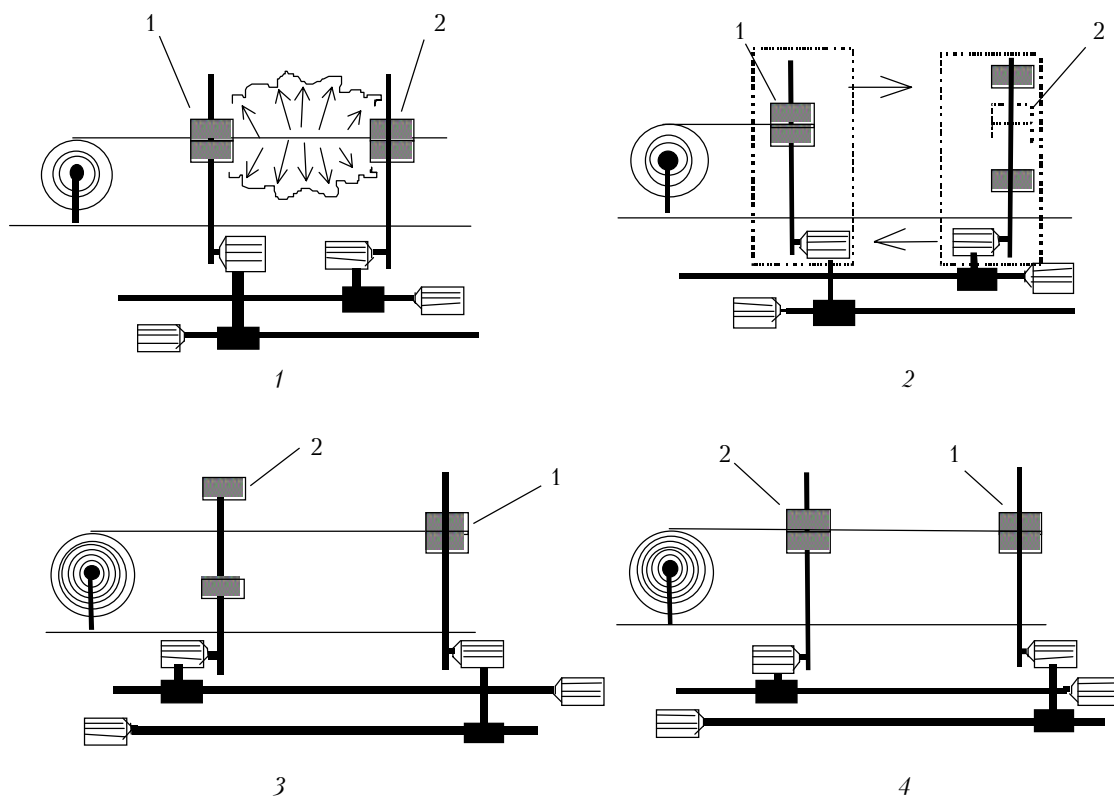


Рис. 4. Такты (1–4) рабочего цикла автоматизированной установки вакуумного напыления методом “электрического взрыва”:
1, 2 – раздвижные подвижные электроды

При автоматизированном решении электроды должны быть подвижны и обладать зажимающим действием. Они состоят из двух частей. Нижние и верхние части электродов должны двигаться вверх-вниз. Механический привод электродов осуществляется от реверсивного двигателя, обеспечивающего электродам возвратно-поступательное движение. Источник испаряемого материала изготавливается в виде рулона и закрепляется на оси, которая вращается с некоторым сопротивлением для натяжения испаряемого материала.

На рис. 4 представлены такты рабочего цикла автоматизированной установки вакуумного напыления методом электрического взрыва.

Во время первого такта происходит испарение материала между первым и вторым электродами. В первом электроде со стороны рулона фольги остается зажат испаряемый материал. На втором такте второй электрод раздвигается: верхняя половина поднимается, нижняя опускается. На третьем такте электроды меняются местами. На четвертом такте второй электрод зажимает испаряемый материал между двумя своими частями, происходит зарядка конденсаторной батареи и вновь происходит разряд между электродами — испарение материала. Указанные такты составляют один рабочий цикл автоматизированной установки вакуумного напыления.

Конструкция электродов должна обеспечить надежный захват фольги испаряемого материала. Как один из вариантов можно предложить конструкцию верхней части в виде пластины с рядом игл и нижней части раздвижного электрода в виде пластины с соответствующими сквозными отверстиями.

Основные технологические параметры процесса напыления тонких пленок медно-цинковых сплавов:

- эффективное время разряда 0,001 с;
- рабочее напряжение конденсаторной батареи 300...500 В;
- остаточное напряжение 30...120 В;
- удельная энергия разряда 800...1000 Дж/г;
- удельная мощность электрического взрыва 190...220 кВт/г.

Адгезионные свойства полученных пленок исследованы с помощью измерений усилий на отрыв от подложки. При сравнении с измерениями пленок, полученных на той же вакуумной установке методом термического испарения, установлено, что сила сцепления пленок, полученных методом электрического взрыва, увеличивается в среднем на 25–30% в зависимости от угла отрыва.

В заключение необходимо отметить, что основные результаты и предложенный способ реализации данной работы можно использовать для получения не только тонких пленок латуни, но и других металлических сплавов.