

НОВЫЕ КОНТАКТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА БАЗЕ МОЛИБДЕНА И ВОЛЬФРАМА (НАПЫЛЕНИЕ)

В.В. Ананьин

390027, ул. Новая, 51В, Рязань, Россия, ОАО «РЗМКП»

Актуальной задачей является создание технологичных герконов повышенной мощности 60-250 Вт при коммутации токов до 5А.

Перспективным путем решения данной проблемы является применение покрытий на основе тугоплавких благородных металлов молибдена и вольфрама, отличающихся наиболее высокой дугоустойчивостью. Наиболее отвечающим поставленным требованиям по производительности и качеству покрытий является метод вакуумного плазменно-дугового напыления (ВПДН).

An actual problem is the development of the manufacturable higher power reed switches 60-250 W at a current switching up to 5A.

A prospective problem solving method is the application of coatings based on refractory base metals molybdenum and tungsten with the highest arc-resistance. The vacuum arc plasma spraying method (VAPSM) meets best of all the productivity and coating quality requirements.

Повышение качества и надежности радиоэлектронной аппаратуры, средств связи, контроля и управления требует дальнейшего совершенствования их элементной базы, в том числе коммутационных приборов, среди которых важное место занимают герметизированные магнитоуправляемые контакты (герконы).

Для обеспечения износостойкости контактов, низкого и стабильного сопротивления в процессе эксплуатации и хранения в газонаполненных герконах малой и средней мощности (до 60 Вт), как правило, применяются электрохимически осажденные покрытия на основе благородных металлов (родий, рутений, золотосодержащие сплавы).

Дугоустойчивость мощных герконов (до 1000 Вт) обеспечивается сложной конструкцией контактной системы. Однако применение дорогостоящих мощных герконов в промежуточных по мощности цепях 60-250 Вт при коммутации токов до 5А не всегда экономически оправдано. С этой точки зрения весьма актуальной задачей является создание технологичных герконов повышенной мощности, аналогичных по конструкции герконам средней мощности с контактной системой простейшего язычкового исполнения.

Перспективным путем решения данной проблемы является применение покрытий на основе тугоплавких благородных металлов молибдена и вольфрама, отличающихся наиболее высокой дугоустойчивостью. Сравнительный анализ существующих методов получения покрытий на основе тугоплавких металлов показывает, что наиболее отвечающим поставленным требованиям по производительности и качеству покрытий является метод вакуумного плазменно-дугового напыления (ВПДН).

Преимущества метода ВПДН, реализуемого с помощью электродуговых плазменных ускорителей (ПУ), определяются высокими скоростью и плотностью широкоапертурного потока металлической плазмы, высоковакуумными условиями процесса. Плазменные ускорители позволяют при высоком КПД использования массы получить сфокусированные потоки особо чистых, сильно ионизированных плазм требуемого состава в глубоком вакууме с оптимальной величиной энергии конденсации и в широком диапазоне управлять свойствами осаждаемых пленок, такими как адгезия, стехиометрия, равномерность по толщине, плотность.

Для нанесения покрытий на основе молибдена в качестве базовой выбрана установка УРМЗ.279.048. Установка снабжена двумя ПУ торцевого холловского типа с магнитной стабилизацией катодного пятна и системой ионизации дуги путем электрического взрыва металлической пленки на поверхности поджигающего электрода. Рабочий вакуум составляет $5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-4}$ Па. Выполненная модернизация катодного узла ПУ позволила устранить паразитное дугообразование, увеличить материалоемкость и упростить конструкцию катода. (Рис. 1)

Технологический процесс нанесения контактного покрытия должен обеспечивать максимальную скорость напыления, которая возможна при данном методе получения пленки, и одновременно заданную однородность по толщине покрытия в пределах напыляемой зоны. На периферийных участках подложки толщина молибденового покрытия должна быть не менее 70% относительно максимума, полученного на оси плазменного ускорителя.

Этот компромисс обеспечивается выбором оптимальных режимов конденсации покрытия: тока дуги, фокусировки плазменного потока, напряжения смещения на подложке.

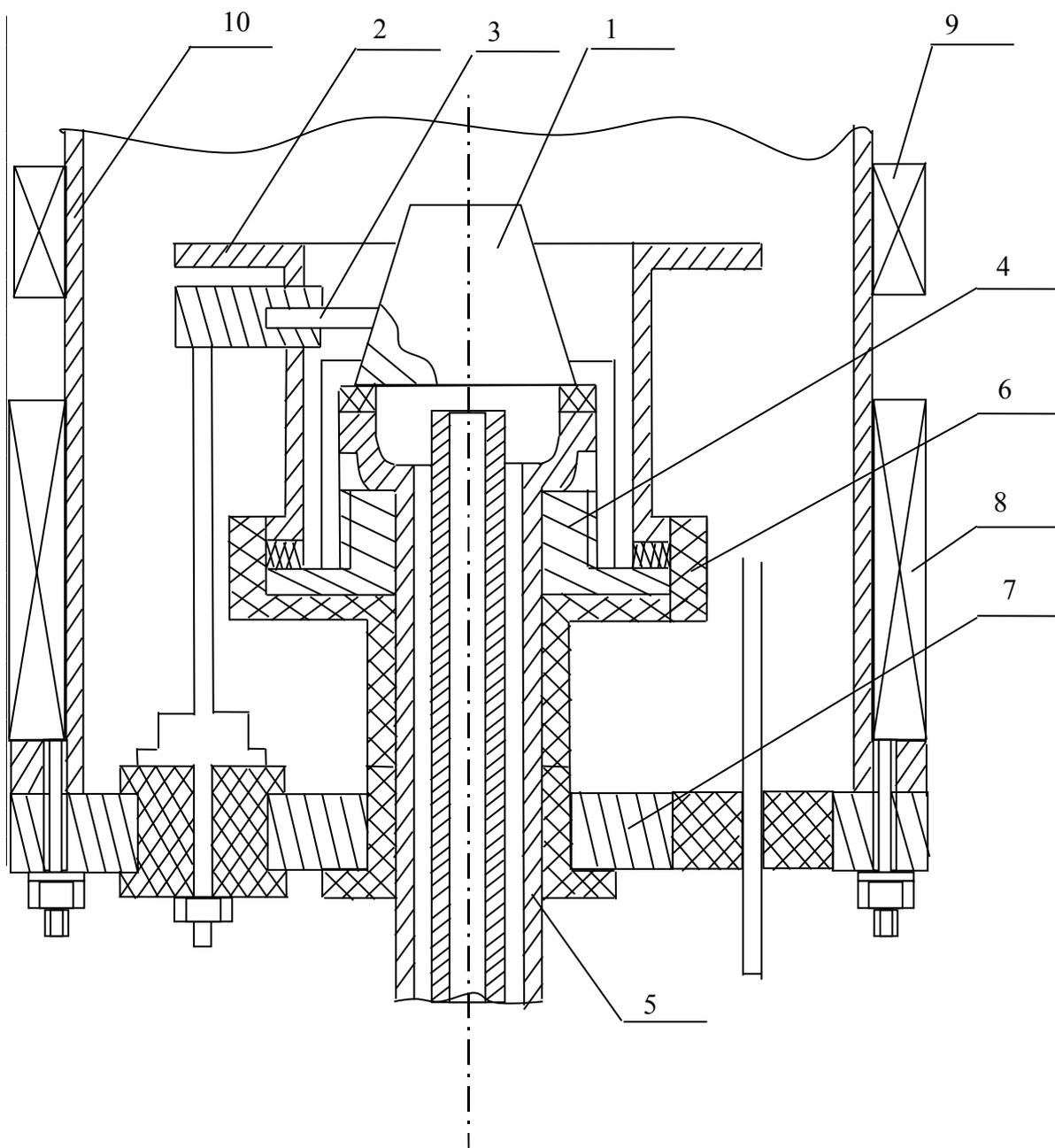


Рис. 1. Конструкция плазменного ускорителя: 1 – катод; 2 – дополнительный анод; 3 – поджигающий электрод; 4 – катодное основание; 5 – токоподвод; 6 – изолятор; 7 – фланец; 8 – стабилизирующая катушка; 9 – фокусирующая катушка; 10 – корпус-анод.

Для группового напыления двухсторонних контактных покрытий на контакт-детали герконов была разработана специальная кассета. При конструировании кассеты были приняты во внимание следующие основные требования:

- максимальная емкость кассеты в напыляемой зоне;
- надежная фиксация контакт-деталей;
- высокая формоустойчивость в условиях нагрева и охлаждения;
- удобство загрузки и выгрузки деталей при их ручном выполнении;
- возможность быстрого монтажа и снятия кассеты, жесткая фиксация кассеты на технологической позиции в камере напыления установки УРМЗ.279.048.

Общий вид кассеты представлен на рис. 2, а также для более полного представления конструкции на рисунке показан разрез. Кассета состоит из полого цилиндра 1, набора коаксиально размещенных на нем плоских колец 2, нижнего 3 и верхнего 4 фланцев, прикрепленных к цилиндру

винтами 5. В радиальные пазы 7 одного из кольца вставляют контакт-детали 8 плоской частью наружу, при этом цилиндрическая часть каждой контакт-детали размещается в выемке 6.

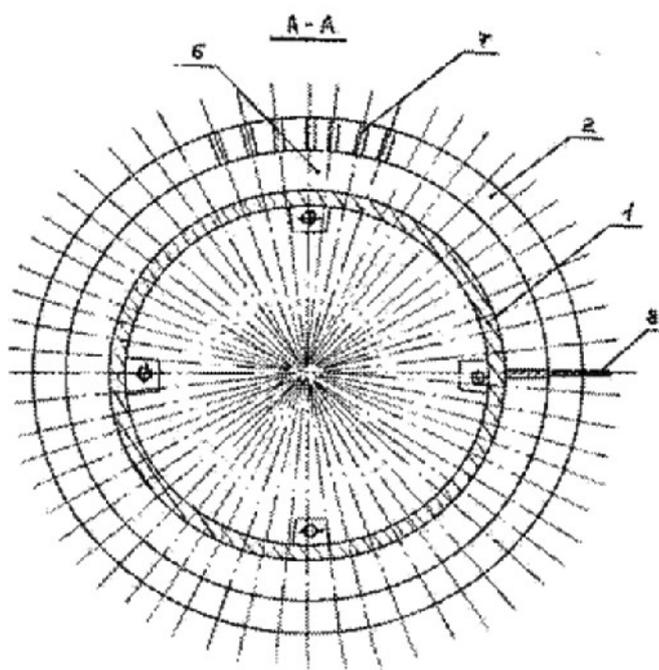
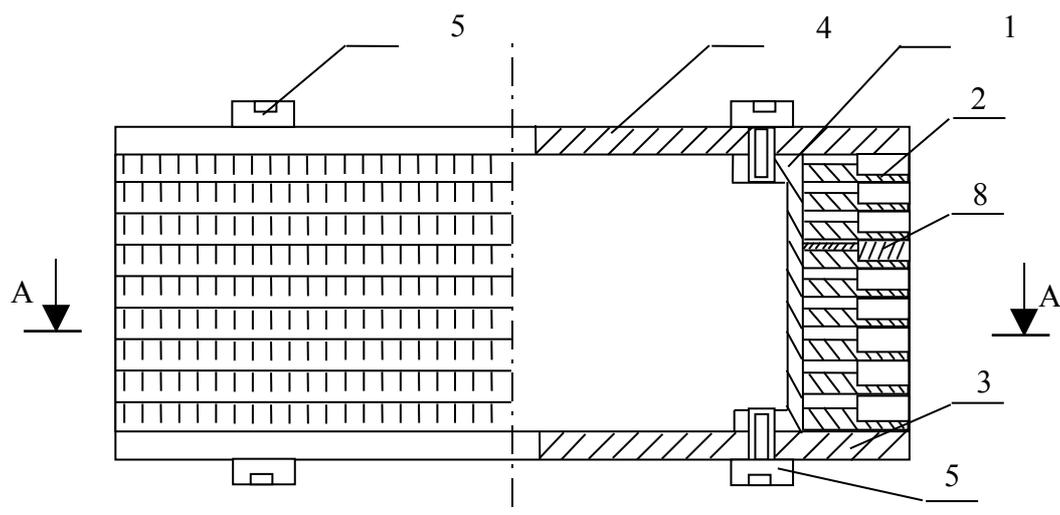


Рис. 2. Кассета для контакт-деталей с двухсторонним покрытием.

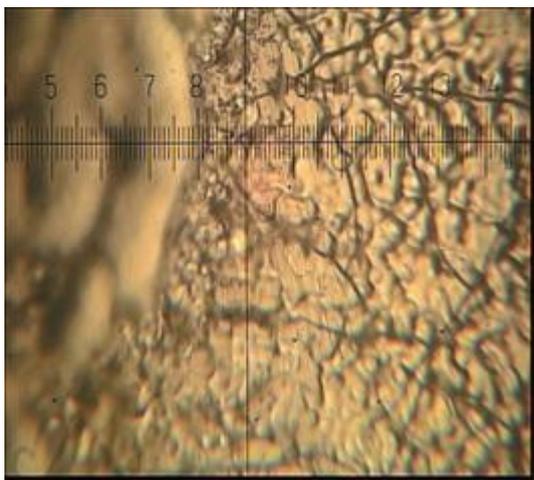
Установлено, что структура пленок определяется в основном температурой, временем напыления и диффузией компонентов подложки. Покрытия с достаточно совершенным столбчатым строением можно получать в условиях промышленного вакуума 10^{-3} - 5×10^{-3} Па при $T \approx 770$ - 970° К.

Повышение адгезии конденсатов в методе ВПДН достигается путем предварительной бомбардировки поверхности контакт-деталей герконов ускоренными до килоэлектрон-вольтных энергий ионами плазмообразующего металла. Эффективность ионной обработки обусловлена очисткой покрываемой поверхности, определенным нагревом деталей, активацией поверхности и формированием центров конденсации, а также образованием легированного псевдодиффузионного слоя на границе пленка-подложка. Обнаружено значительное снижение адгезии вплоть до отслаивания покрытий в результате высокотемпературной ионной обработки контакт-деталей из пермаллоя. В то же время покрытия молибдена, осажденные без предварительной ионной обработки контакт-деталей, имеют низкий и невоспроизводимый уровень адгезии. Принципиальное значение в определении оптимального режима ионной обработки имеет правильный выбор дозы облучения, которая при фиксированных остальных параметрах процесса определяется временем обработки. Поэтому выбор параметров ионной обработки потребовал проведения ряда экспериментов по

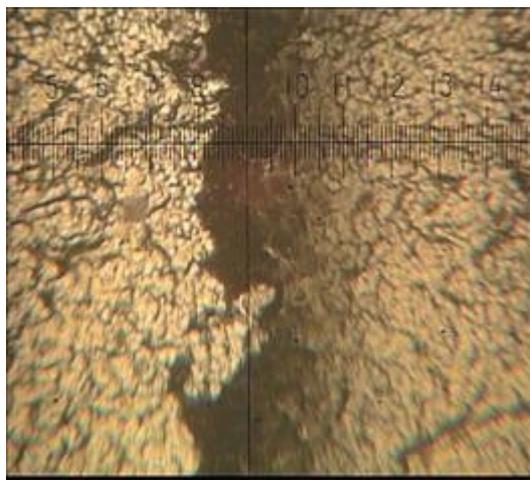
выяснению зависимости адгезии конденсатов от дозы и температуры облучения. При фиксированных параметрах процесса ионной обработки ($I_d \equiv 80A$; $I_{\phi} \equiv 1A$; $U \equiv -1kV$) варьировалось время ионного облучения деталей, соответственно 0, 3, 6 и 15 минут. Анализ покрытий деталей проводился на растровом электронном микроскопе. Исходя из полученных данных и представленных на рис. 3 фотографий, были сделаны следующие выводы:

При отсутствии предварительной обработки наблюдается вспучивание покрытия (плохая адгезия). При обработке в течение 15 минут происходит перегрев поверхности контакт-деталей, что в результате приводит к ухудшению адгезии и изменению структуры покрытия; при обработке в течение 3 минут происходит образование кристаллов молибдена с дефектной кристаллической решеткой (из-за недостаточного времени прогрева поверхности); при обработке в течение 6 минут достигается наилучшая адгезия.

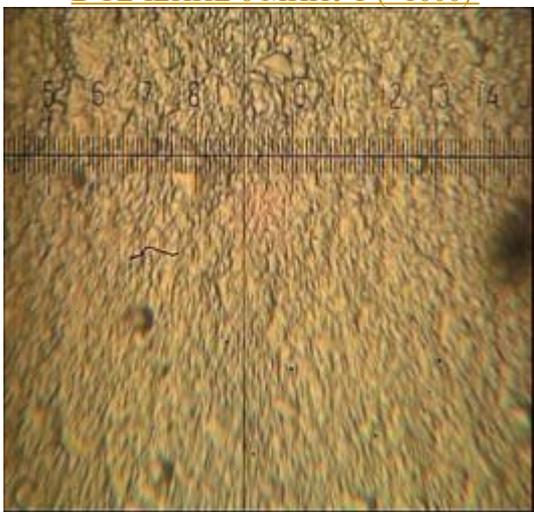
ФРАКТОГРАФИЯ МОЛИБДЕНОВОГО ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЕННОГО БЕЗ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ИОННОЙ ОБРАБОТКИ
($\times 650$)



ФРАКТОГРАФИЯ МОЛИБДЕНОВОГО ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЕННОГО С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ В ТЕЧЕНИЕ 15 МИНУТ ($\times 650$)



ФРАКТОГРАФИЯ МОЛИБДЕНОВОГО ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЕННОГО С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ
В ТЕЧЕНИЕ 6 МИНУТ ($\times 1000$)



ФРАКТОГРАФИЯ МОЛИБДЕНОВОГО ПОКРЫТИЯ, НАНЕСЕННОГО С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ
В ТЕЧЕНИЕ 3 МИНУТ ($\times 1000$)

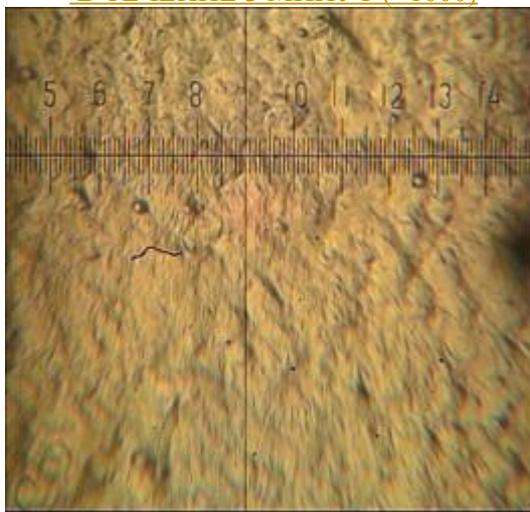


Рис. 3. Фрактографии покрытий из молибдена

В режиме ионной обработки при больших плотностях ионного тока вследствие различия масс деталей и кассеты и инерционности процессов теплообмена между ними температура деталей за короткое время может превысить T_{\min} (что ведет к снижению адгезии покрытий), в то время как массивная и частично экранированная от ионного потока кассета остается сравнительно холодной. Поэтому переход в режим конденсации сопровождается значительным понижением $T_{\text{опт}}$ с последующим постепенным повышением до установившегося значения, определяемого плотностью потока и энергией осаждающихся частиц, что приводит к росту покрытий с неоднородной по толщине структурой. Увеличение длительности ионной обработки при низких плотностях ионного тока позволяет за счет выравнивания температур деталей и кассеты сократить время стабилизации $T_{\text{опт}}$ в режиме конденсации.

При исследовании стабильности дуги в установке УРМ3.279.048. на вольфрамовом катоде обнаружено явление тренировки катода, не наблюдаемое на молибдене. Оно заключается в крайне неустойчивом горении разряда при первоначальной инициации после монтажа нового катода или пребывания работавшего катода на атмосфере в течение нескольких часов. Данные недостатки, характерные для вольфрама, устранены при отработке технологии нанесения покрытия на универсальной плазменной установке УПУ-3Д. Исполнительными органами установки являются плазматрон ПП-25 и головка ГМП -25, в которых генерируют плазменные струи (высокоскоростные потоки ионизированного газа). При вводе напыляемого материала (порошка или проволоки) в плазменную струю формируется высокоскоростной поток частиц материала, находящихся в расплавленном или высокопластичном состоянии. Частицы материала при соударении с контакт-деталью герконов деформируются до плоского состояния и внедряются в микронеровности на поверхности пермаллоя с образованием общих точек физико-химического взаимодействия, обеспечивающих плотность и прочность сцепления покрытий.

Свойства и характеристики контактного покрытия оказывают существенное влияние практически на все важнейшие параметры магнитоуправляемых контактов: сопротивление, коэффициент возврата, пробивное напряжение, технический ресурс, надежность, диапазон коммутируемых токов и напряжений. Поэтому к контактному покрытию герконов предъявляются высокие требования.

В результате экспериментов было установлено, что для получения оптимальных характеристик покрытий необходимо устанавливать следующие параметры процесса напыления применительно к установке УРМ3.279.048:

1. максимальный ток дуги, $I_d = \max$;
2. ток фокусирующей катушки, $I_f = 3A$;
3. напряжение смещения на кассету от источника питания $U = 0$
4. рабочий вакуум – $P = 5 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-6}$ мм. рт. ст.

По мере срабатывания торцевого катода происходит уменьшение скорости напыления, поэтому необходимо увеличивать время напыления от загрузки к загрузке для получения заданной толщины при различной наработке катода.

Кроме того, на качество получаемого покрытия существенное влияние оказывает и режим охлаждения кассеты с готовыми деталями.

