

АДГЕЗІЙНІ ПЛІВКИ НА ЕЛЕКТРИЧНИХ КОНТАКТАХ

А. М. МРАЧКОВСЬКИЙ, кандидат технічних наук

М. А. ХОМЯК, студентка

e-mail: amrachkovskyi@mail.ru

Анотація. Проаналізовано вплив поверхневих плівок на перехідний опір і провідність контактів залежно від форми і площі контактної поверхні для контактних пар, виготовлених із однойменних і різнойменних матеріалів.

Ключові слова: робоча поверхня, оксидні плівки, срібло, нікель, вольфрам, тунельний опір, провідність

Поверхня твердого тіла не може бути абсолютно гладкою і якщо навіть контакти виготовлені з ідеально твердого матеріалу, то дотик відбувається не більше, ніж у трьох точках. Оскільки реальний матеріал деформується, місця дотику сплющуються і стають маленькими поверхнями, а на них утворюються контактні плями. Сума всіх цих плям становить поверхню, на якій під дією різних факторів утворюються плівки.

Вивчення фізичних процесів, що відбуваються на робочих поверхнях електричних контактів у процесі експлуатації, створює реальні передумови для майбутньої боротьби з ерозійним зносом, зварюванням та обгоранням контактів.

Мета досліджень – аналіз фізичних процесів на робочих поверхнях комутаційних апаратів.

Матеріали і методика досліджень. На електричних контактах можуть утворюватися такі типи плівок: плівки потемніння (окисні або сульфідні), адгезійні плівки, пасивуючі плівки, граничні змащувальні плівки.

Окисні й сульфідні плівки є напівпровідниками з великим питомим опором, який виникає при порушеннях в їх решітці. Оскільки щільність таких порушень змінюється від точки до точки, що частково залежить від будови решітки металу, яка знаходиться під плівкою, питомий опір окислів буде змінюватися також від точки до точки. Крім цього, товщина плівок потемніння залежить від того, на якій грані кристала ця плівка з'явилася. Це все разом призводить до висновку, що будь-яка плівка потемніння на полікристалічній металевій поверхні є неоднорідною.

Результати досліджень. У дослідженнях між потьмянілими металевим і срібним циліндрами діаметром 3 мм при силі $P = 3,6$ г було отримано контактну поверхню $A = 3 \cdot 10^{-6}$ см² і спостерігалися плями зі зниженим, нормальним і великим опорами. Після визначення середньої товщини плівки виявилось можливим розрахувати питомий опір плівок у межах цих плям. Нормальний питомий опір для NiO дорівнює 10^7 Ом · см, для Cu₂O - $2 \cdot 10^4$ Ом · см.

Встановлено, що поверхні металів мають винятково високу гетерогенність і складаються з почергових ділянок із малим і з дуже великим опором і таке явище спостерігається навіть у благородних металів.

Видимі оком плівки, якщо вони не зруйновані в результаті електричного пробою, будуть практично ізолювати тверді поверхні і значно ускладнювати роботу електричних контактів. Найбільш відома адгезійна плівка складається з кисню. Якщо чисту поверхню піддати впливу повітря, то на ній буде осідати кисень у вигляді фізичних адсорбованих молекул, які виявляються пов'язаними з поверхнею металу порівняно невеликими силами, навіть за контактної температури потрібно трохи часу, щоб ці молекули швидко дисоціювали внаслідок каталітичного впливу металу. Одночасно атоми можуть виявитися хемосорбованими, тобто ковалентно зв'язаними з атомами металу.

На вольфрамі існують два шари кисневих атомів, перший має теплоту адсорбції близько 4 еВ, а другий – близько 2 еВ і обидва шари стикаються з поверхнею металу. Внаслідок цього, фізично пов'язана плівка може витримувати помітні механічні навантаження, але вона погано протистоїть тертю. Ці дуже тонкі атомні плівки характеризуються тунельною провідністю, причому питомий опір на різних металах має майже таку саму величину, як і на вольфрамі. Звідси випливає, що кисневі шари утворюються на різних металах.

Зазвичай кисневі атоми довго не існують, так як електронна спорідненість кисню призводить до витягування електронів з металу, а атоми кисню перетворюються в негативні адіони. Після цього вони утворюють негативний шар на металі, який протидіє випаровуванню електронів, тобто збільшує роботу виходу ϕ . Якщо у чистого вольфраму ϕ лежить у межах 4,2-5,5 еВ, то за наявності кисневих адіонів вона може зрости до 6,6 еВ. Робота виходу залежить від атомів, оскільки їх електронний обмін з поверхні металу призводить до того, що впродовж деякого часу вони можуть виявитися зарядженими негативно. Однак цей переміжний ефект незначний.

Факт утворення окисних плівок потемніння означає, що кисневі атоми або іони також здатні витягувати атоми металу і пов'язувати їх в решітку оксиду, або приєднувати їх і утворювати оксид залежно від того, який із цих процесів потребує меншої витрати енергії. Таким чином, якщо теплота випаровування електронів (робота виходу) менша, ніж теплота випаровування атомів металу, відбувається утворення аніонів.

На поверхні контакту проявляється вплив питомого тунельного опору σ - опору, що чиниться на 1см^2 плівки тунельного току, що її пронизує. В адгезійних і пасивуючих плівках він знаходиться в межах $5 \cdot 10^{-9} - 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$.

Додатковий опір плівки, який всього в кілька разів більше від опору стягування, не представляє небезпеки в звичайних реле. Однак у мікроконтактів, де зусилля становлять кілька міліграмів, навіть найтонша

адгезійна плівка створює помітний опір, оскільки контактна поверхня в цьому випадку дуже мала.

Обчисливши контактну поверхню за допомогою рівняння

$$P = \xi H A_c,$$

де ξ – коефіцієнт стискання матеріалу;

H – твердість матеріалу контакту;

A_c – площа поверхні контакту (приймаємо $H = 5 \cdot 10^{-6}$ г / см² і $\xi = 0,3$ при $P = 10^{-3}$ г), отримаємо

$$A_c = 6,7 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2$$

Звідси опір плівки буде

$$7,5 \text{ Ом при } \sigma = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$$

і

$$1500 \text{ Ом при } \sigma = 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{см}^2.$$

Можна вважати, що при таких величинах опору контакт порушується. Опір стягування, пов'язаний з тією самою поверхнею A_c , має величину близьку 0,1 Ом, тобто дуже малий порівняно з таким самим опором плівки.

Тунельний опір тільки хемосорбованого шару на порядок менший від загального опору обох шарів. Це пояснюється великою чутливістю тунельного ефекту до невеликих змін у товщині плівки.

При $P = 1$ кг питомий тунельний опір плівки на вольфрамівому контакті становить $\sigma = 10^{-7}$ Ом * см², а при $P > 3$ кг опір дорівнює 10^{-8} ом • см². Різниця у величинах σ пояснюється тим, що адгезійна плівка здатна витримувати тільки невелике навантаження, а при великих навантаженнях вона руйнується і на контактах залишається тільки хімічно зв'язана плівка.

Висновки

Основний вплив адгезійних плівок на контакти полягає в такому:

1. Вони створюють опір, що є основною проблемою в роботі контактів.
2. Контакти з чистого срібла мають перехідний опір утричі менший, ніж композиції на основі срібла.
3. Композиції на основі вольфраму мають перехідний опір, який значно перевищує перехідний опір срібних композицій і значною мірою залежить від контактного натиску і струму на контактах.

Список літератури

1. Хольм Р. Электричні контакти / Р. Хольм. – М. : Издательство иностранной литературы, 1961. – С. 35.
2. Декабрун И. Е. Электрические контакты / И. Е. Декабрун. – М. : Государственное энергетическое издательство, 1978. – С. 224.
3. Исследование эрозии металлокерамических контактов на основе серебра и никеля при коммутации малых токов. Электрические контакты : учеб. пособие / И. И. Бейлис, Г. Н. Братерская, В. Н. Раховский, О. К. Теодорович. – М. : Энергия, 1987. – 305 с.

4. Белкин Г. С. Исследование элетрической эрозии металлокерамических аппаратов. Электричество : учеб. пособие / Г. С. Белкин, М. Е. Данилов. – 1972. – № 2. – С. 12–18.

References

1. Kholm, R. (1961). Elektrychni kontakty. [Electrical contacts]. Izdatelstvo inostrannoy literatury, 35.

2. Dekabrun, I. E. (1978). Elektricheskiye kontakty [Electrical contacts]. Gosudarstvennoye energeticheskoye izdatelstvo, 224.

3. Beylis, I. I. (1987). Issledovaniye eroziyi metallokeramicheskikh kontaktov na osnove serebra i nikelya pri kommutatsiyi malykh tokov, [Study erosion cermet contacts based on silver and nickel for switching low currents]. Energiya, 305.

4. Belkin, G. S. (1972). Issledovaniye elektricheskoy eroziyi metallokeramicheskikh apparatov [The study of electrical erosion of metal-ceramic devices]. Elektetrichestvo, 128..

АДГЕЗИОННЫЕ ПЛЕНКИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТАХ

**А. Н. Мрачковський,
М. А. Хомяк**

***Аннотация.** Проанализировано влияние поверхностных пленок на переходное сопротивление и проводимость контактов в зависимости от формы и площади контактной поверхности для контактных пар, изготовленных из одноименных и разноименных материалов.*

***Ключевые слова:** рабочая поверхность, оксидные пленки, серебро, никель, вольфрам, туннельное сопротивление, проводимость*

ADHESIVE FILM ON THE ELECTRICAL CONTACTS

**A. Mrachkovskyi,
M. Homyak**

***Abstract.** The influence of surface films on transition resistance and conductivity contacts depending on the shape and area of the contact surface for contact pairs made of the same names and dissimilar materials.*

***Keywords:** working surface, oxide film, silver, nickel, tungsten, tunnel resistance, conductivity*