

И.А. ЗЕЛЬЦЕР<sup>1,2</sup>, Е.Н. МООС<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Рязанский завод металлокерамических приборов, Россия,*

<sup>2</sup>*ООО «Эктон», Москва, Россия,*

<sup>3</sup>*Рязанский государственный университет им. С. Есенина, Россия*

## **НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ГЕТЕРОСИСТЕМ В ПУЛЬСИРУЮЩЕЙ ПЛАЗМЕ**

Рассмотрены контактные нитридные гетеросистемы индуцированные на поверхности Fe - Ni контактов герконов высоковольтными высокочастотными импульсными разрядами в атмосфере азота. Методами РЭМ, АСМ, РСМА, ЭОС исследовано влияние плазмы на контакты, массоперенос и перераспределение элементов в них. Показано, что длительное воздействие плазмы ведет к росту толщины нитридных слоев до нескольких сотен нанометров, образованию поверхностных пор, выступов и конусов. В рамках новой модели эрозии контактов анализируются процессы массопереноса, происходящие на поверхности контактов геркона при коммутации электрического тока.

I.A. ZELTSER<sup>1,2</sup>, E.N. MOOS<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>*Ryazan Metal Ceramics Instrumentation Plant Joint Stock Company, Russia*

<sup>2</sup>*Limited Liability Company "Ecton", Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Ryazan State University named for S.Esenin, Russia*

## **NANOSTRUCTURING OF HETEROSYSTEMS IN PULSATIVE PLASMA**

Contact heterosystems induced on the surface of Fe-Ni contacts of the reed switches by high-voltage and high-frequency pulsed discharges in a nitrogen atmosphere are considered. The influence of the plasma on contacts, the mass transfer and the redistribution of the elements in them was studied by SEM, AFM, EPMA, AES methods. It is shown that prolonged exposure to plasma leads to an increase in the thickness of nitride layers to several hundred nanometers, the formation of surface pores, protrusions and cones. In the framework of the new model of the contact erosion, the mass transfer processes which occur when electrical current is switched on the contact surface of the reed switch are analyzed.

Известны проблемы, связанные с взаимодействием плазменных потоков с поверхностью, к которым можно отнести процессы разрушения оболочек (абляция) в авиакосмической отрасли, оболочек атомных реакторов, технологических процессов формирования пленочных систем и покрытий, в частности, в микро- и нанoeлектронике. Сюда же примыкают вопросы наноструктурирования сплавных гетеросистем в пульсирующей плазме азота и возможность их применения как

функциональных покрытий в магнитоуправляемых герметизированных контактах (герконах) взамен драгоценных металлов. Отметим, что недостаточно полно рассмотрены процессы и механизмы формирования таких структур и их деградация. Это обусловлено неравновесностью условий (промежутки времени порядка микро- и наносекунд) и микро- и наноразмерностью объемов вещества.

Целью данной работы явилось экспериментальное обоснование механизмов формирования наноструктурированных гетеросистем контактных покрытий в пульсирующей плазме азота, а также изучение механизмов эрозии (образования лунок и выступов на контактах).

Комбинацией методов РЭМ, АСМ, РСМА, ЭОС исследовалось влияние плазмы на Fe - Ni сплавные контакты, массоперенос и наномасштабное перераспределения элементов в них.

Оже-профили обнаружили смену сформировавшихся фаз наноструктурного поверхностного контактного слоя с меняющейся по глубине стехиометрией соединений в контактных 50 – 80 нм нановыступах  $\text{Fe}_3\text{N}$  (30 нм) и  $\text{Fe}_4\text{N}$  (40 нм). На рисунке 1 представлены участки азотированной поверхности (выступы и конусы рельефа). Длительное воздействие плазмы ведет к росту толщин нитридных слоев до нескольких сотен нанометров, образованию поверхностных пор с регулярно расположенными на дне конусами (см. рис. 1).

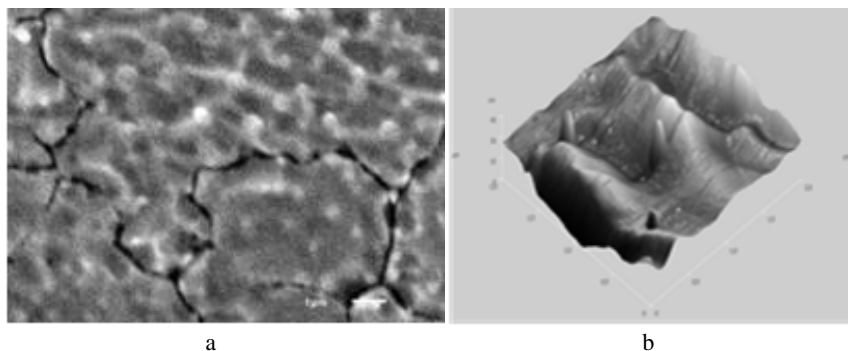


Рис. 1 РЭМ (а) и АСМ (б) изображения участков азотированной поверхности

Происходящие явления массопереноса и образование кратеров рассматривались в рамках эктонной модели взрывной электронной эмиссии и развития вакуумной дуги. Показано, что энергетический порог образования эктона прямо пропорционален сумме величин удельной энергии ионизации и сублимации, определяющих степень эрозионной устойчивости.

Наноструктурирование поверхности (нанорельеф проводящих нановыступов) сплавных гетеросистем обеспечивает повышенную надежность контактов от эрозионных и механических разрушений.

Работа выполнена при поддержке Фонда «Сколково» (грант № МГ13/17).