

3. Kinetic and steady-state properties of magnetron sputter with three-dimensional magnetic field / С.Н. Shon [et al.] // Japanese journal of applied physics. – 1999. – V. 38. № 7S – P. 4440.
4. Прогнозирование эрозии мишени магнетронных распылительных систем/ Д.А. Голосов [и др]// ПФМТ. – 2010. – Т. 2, № 3. – С. 62–67.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ В ПЛАЗМЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Ю. В. Запорожченко, Д. А. Котов, С. А. Никитюк, Е. В. Яцевич, А. Н. Осипов

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки 6, 220013 Минск, Беларусь,
e-mail: yliyazaporozchenko@gmail.com*

Поверхность кремниевой пластины обрабатывалась в плазме при атмосферном давлении. Обработка в плазме диэлектрического барьерного разряда привела к значительному увеличению адгезии. Адгезия определялась на основе измерения коэффициента трения. Зависимость коэффициента трения кремния от режимов обработки изучалась с помощью атомно-силового микроскопа. Использование плазмы атмосферного разряда позволило быстро и качественно изменить свойства поверхности, не разрушая ее.

Ключевые слова: кремний; обработка поверхности; атмосферная плазма; повышение адгезии; коэффициент трения.

INVESTIGATION OF THE SURFACE OF MONOCRYSTALLINE SILICON AFTER PROCESSING IN A PLASMA OF A DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE AT ATMOSPHERIC PRESSURE

Y. V. Zaporozhchenko, D. A. Kotov, S. A. Nikitiuk, E. V. Yatsevich, A. N. Osipov

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
P. Brovki str. 6, 220013 Minsk, Belarus,
Corresponding author: Y. V. Zaporozhchenko (yliyazaporozchenko@gmail.com)*

The silicon wafer surface was treated by atmospheric pressure plasma. Atmospheric plasma improvement resulted in a significant increase in adhesion. The adhesion was measured as a coefficient of friction. The dependence of the friction coefficient of the silicon on the treatment modes was studied by the atomic force microscope. The use of the atmospheric discharge plasma made it possible to change the surface properties rapidly at low cost without destroying it.

Key words: silicon; surface treatment; atmospheric plasma; increase of adhesion; coefficient of friction.

ВВЕДЕНИЕ

Важную роль в науке и технике занимают процессы очистки поверхностей подложек и деталей различной природы, а также их модификация перед последующими

технологическими процессами. Перспективной является обработка в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении. Ее важнейшей особенностью являются сочетание достоинств традиционной ионно-плазменной обработки с низкой себестоимостью таких процессов, обусловленной отсутствием необходимости в дорогостоящем вакуумном оборудовании.

Оценка изменения поверхностной адгезии кремния производилась нами на основе расчета сил воздействующих на кантилевер атомно-силового микроскопа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения плазменной обработки использовался экспериментальный комплекс, состоящий из разрядной системы, системы питания и системы подачи рабочего газа (рис. 1, а).

Диэлектрический барьерный разряд формировался в устройстве коаксиального типа (рис. 1, б). Данная разрядная система позволяет формировать плазменный факел длиной до 3 см, с зоной обработки диаметром в 1 см. В качестве плазмообразующего газа используется аргон.

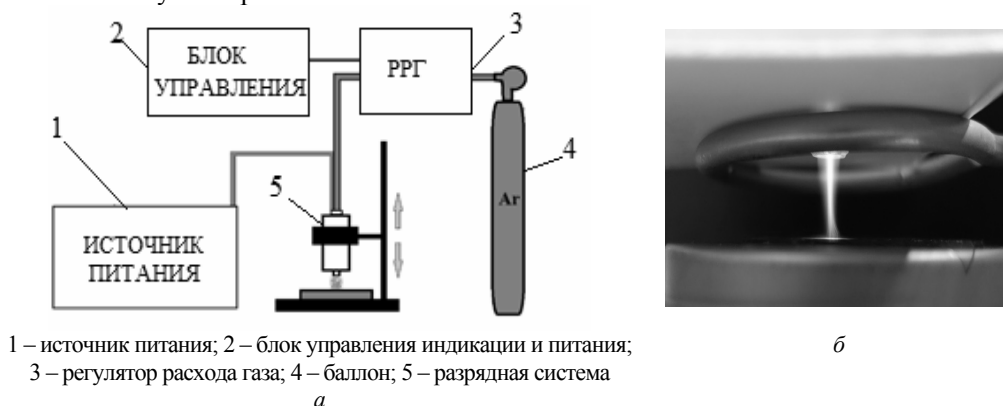


Рисунок 1. – Схематичное изображение экспериментального комплекса (а) и фото плазменного факела (б)

Оценка величины адгезии поверхности монокристаллического кремния проводилась на основе определения коэффициента трения с помощью атомно-силового микроскопа NT-206 [1].

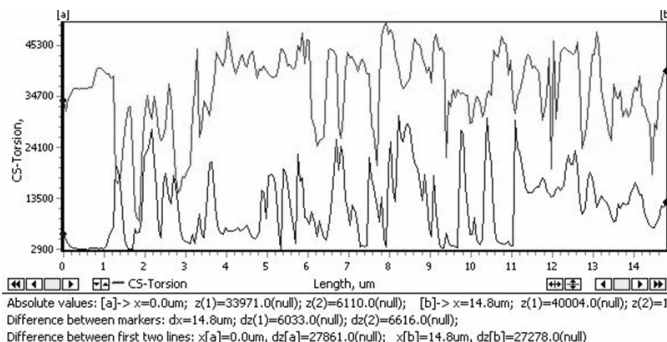


Рисунок 2. – Графики прямого и обратного хода консоли зонда после обработки в течение 4 минут

Значение этого коэффициента рассчитывалось на основе измерения средней величины закручивания кремниевой консоли зонда вокруг своей оси при его прямом и обратном движении во время сканирования (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Активация поверхности заключается в формировании химически активного поверхностного слоя за счет образования оборванных связей в процессе обработки. Для количественного описания влияния плазмы атмосферного разряда на свойства поверхности кремния проводилось исследование зависимости изменения коэффициента трения от времени обработки (при фиксированном расстоянии от источника плазмы) и от расстояния между источником плазмы и обрабатываемой поверхностью (при фиксированном времени обработки).

Обработка проводилась при мощности разряда порядка 25 Вт, расходе плазмообразующего газа 300 л/ч.

Для исследования зависимости усиления эффекта от длительности обработки, время обработки варьировалось от 1 до 5 минут с интервалом в одну минуту. Расстояние между торцом разрядной системы и образцом – 10 мм. На основании полученных экспериментальных измерений атомно-силового микроскопа, путем усреднения значений отклонений зонда при проходе в прямом и обратном направлении, построен график зависимости коэффициента трения от времени обработки (рис. 3).

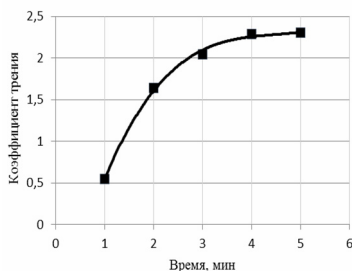


Рисунок 3. – График зависимости коэффициента трения от времени обработки

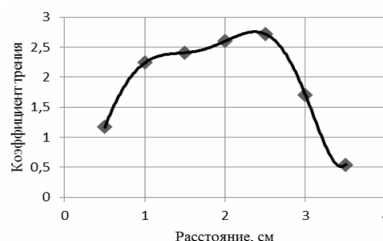


Рисунок 4. – График зависимости коэффициента трения от расстояния

Из представленной на рисунке 3 зависимости следует, что основной эффект от обработки достигается за 3 минуты, а далее наблюдается насыщение. Поэтому целесообразно производить обработку поверхности кремниевой пластины в течение не более 3–4 минут. Дополнительное увеличение времени обработки требует дополнительных затрат энергий без значительного увеличения адгезии.

Исследование зависимости коэффициента трения от расстояния между торцом разрядной системы и образцом проводилось при обработке в течение 4 минут. Расстояние изменялось в пределах от 5 до 35 мм.

Приведенная на рисунке 4 экспериментальная зависимость показывает наличие экстремумов. Это говорит о разных условиях обработки вдоль по сечению плазменного факела. Поэтому максимальное изменение коэффициента трения наблюдается при обработке на расстоянии 20–25 мм. Данное расстояние соответствует видимой длине плазменного факела. Такая зависимость, вероятно, обусловлена увеличением количества активных частиц в формируемом потоке при движении газа от торца разрядной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате экспериментальных исследований зависимости силы трения от времени обработки установлено, что основной эффект от обработки достигается за 3–4 минуты. Это показывает, что обработка имеет большую эффективность при малых затратах энергии.

Так же проведены исследования зависимости сил трения поверхности кремния при обработке в разных частях факела. Результаты показали, что максимальный эффект достигается на расстоянии 20–25 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Методическое пособие по выполнению лабораторной работы «Определение коэффициента трения различных поверхностей МЭМС-акселерометра производства НИИ радиоматериалов» / Минск: БНТУ, 2017. –12 с.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОИСТОГО КОБАЛЬТИТА БАРИЯ $\text{Ba}_2\text{Co}_9\text{O}_{14}$ И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

А. И. Клындюк, Е. А. Чижова

*Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а, 220006,
Минск, Беларусь, e-mail: klyndyuk@belstu.by*

Твердофазным методом синтезирована керамика состава $\text{Ba}_{1,9}\text{M}_{0,1}\text{Co}_9\text{O}_{14}$ ($M = \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}, \text{Na}, \text{La}$), изучены ее кристаллическая структура, тепловое расширение, электропроводность и термо-ЭДС. Найдено, что полученные материалы являются проводниками p -типа, в которых в интервале температур 450–700 К имеет место переход диэлектрик–диэлектрик, вызванный изменением спинового состояния ионов кобальта в их структуре и сопровождающийся резким возрастанием их электропроводности и уменьшением коэффициента термо-ЭДС. Рассчитаны значения фактора мощности керамики.

Ключевые слова: слоистый кобальтит бария; оксидные термоэлектрики; фактор мощности; переход диэлектрик–диэлектрик.

THERMOELECTRIC PROPERTIES OF LAYERED BARIUM COBALTITE $\text{Ba}_2\text{Co}_9\text{O}_{14}$ AND ITS DERIVATIVES

A. I. Klyndyuk, E. A. Chizhova

*Belarusian State Technological University, Sverdlova str. 13a, 220006 Minsk, Belarus,
Corresponding author: A. I. Klyndyuk (klyndyuk@belstu.by)*

By means of solid-state reactions method the ceramics with composition of $\text{Ba}_{1,9}\text{M}_{0,1}\text{Co}_9\text{O}_{14}$ ($M = \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}, \text{Na}, \text{La}$) had been synthesized, its crystal structure, thermal expansion, electrical conductivity and thermo-EMF had been studied. It was found that the materials obtained are p -type conductors, in which the insulator–insulator transition