

Характеристики области, представленной на рисунке 2: среднее значение высоты зерна (H) – 81,0 нм, $H_{min} = 0,0$ нм, $H_{max} = 179,1$ нм, асимметрия – 0,0327, эксцесс – минус 0,3, средняя площадь зерна – $2,24 \times 10^{-15}$ м²; средний размер зерна – 40 нм.

На рисунке 3 представлена топология исходной поверхности.

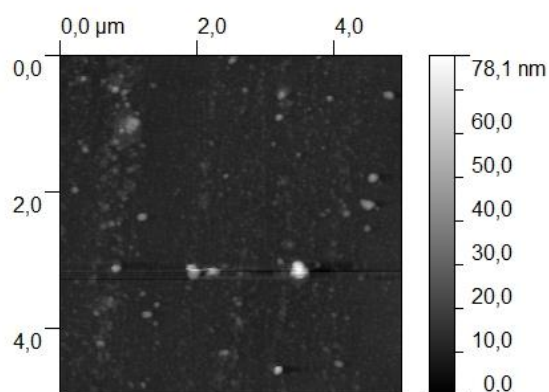


Рисунок 3 – Топология поверхности, не подвергаемой воздействию

Характеристики области, представленной на рисунке 3: среднее значение высоты зерна (H) – 13,28 нм, $H_{min} = 0,0$ нм, $H_{max} = 78,10$ нм, асимметрия – 6,69, эксцесс – 70,1, средняя площадь зерна – $4,8 \times 10^{-15}$ м²; средний размер зерна – 54 нм.

Таким образом, зона, непосредственно подвергаемая лазерному воздействию (рисунок 1), неоднородна по своей структуре по сравнению с зоной, не подвергаемой лазерному воздействию (рисунок 3), что является следствием агрессивного механизма лазерного воздействия. Удаление материала с поверхности происходит по механизму абляции, что приводит к беспорядочной структуре расположения зёрен медного подслоя на поверхности кремния. Однако такие зёрна вполне могут стать зародышами новой фазы при последующем электрохимическом осаждении меди. Определённый интерес представляет структура поверхности в зоне термического влияния (рисунок 2), представляющая собой периодическую структуру (с периодом порядка 0,3–0,5 мкм) в виде «волны», которая, видимо, является следствием распространения поверхностных термоупругих напряжений в процессе лазерного воздействия. Целесообразно дальнейшее исследование таких структур в виду их возможного использования в изделиях микроэлектроники.

А. Н. Купо¹, Н. Н. Федосенко¹, В. А. Емельянов²

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
г. Гомель, Республика Беларусь,

²ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»,
г. Минск, Республика Беларусь

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ, СФОРМИРОВАННОГО ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Современный уровень развития микроэлектроники требует разработки новых технологий для создания ее элементной базы. Методы лазерной импульсной активации электрохимической обработки материалов обладают рядом преимуществ: локальность воздействия, простота варьирования технологических параметров, отсутствие термоупругих напряжений

и микротрещин обрабатываемой поверхности. Разработка технологий получения микроэлектронных устройств с использованием лазерной активации требует глубокого научного исследования кинетики физико-химических процессов, протекающих в окрестности зоны термического влияния, создаваемой на поверхности материала лазерным излучением.

В данной статье представлены результаты исследования процесса лазерного электрохимического травления металлической фольги при различных технологических параметрах лазерного излучения. В экспериментах исследовались материалы, наиболее распространённые в изделиях микроэлектроники: медь и алюминий. Эксперимент проводился на установке, созданной на базе лазерного технологического комплекса «Квант-15», в котором использовался лазер с длиной волны генерации 1,06 мкм. Энергия в импульсе W варьировалась в пределах 5–10 Дж, частота следования импульсов ν 0,5–5,5 Гц, длительность импульса составляла $1\text{--}3 \cdot 10^{-3}$ с. В качестве электродов электрохимической ячейки использовалась металлическая фольга толщиной 30 мкм. Анод, поверхность которого подвергалась лазерному воздействию, располагался в электролитической ячейке горизонтально под слоем электролита толщиной 1,5 мм, что обеспечивает пренебрежимо малое поглощение излучения электролитом. Рельеф зоны импульсного лазерного травления исследовался с помощью установки, созданной на базе профилометра П-252, управляемой с помощью компьютера. Измерения проводились с шагом $2 \cdot 10^{-5}$ м. Трасса сканирования составляла $0,7\text{--}1,5 \cdot 10^{-3}$ м, радиус кривизны сканирующей иглы – 10^{-5} м.

Осуществлен анализ факторов, влияющих на скорость травления металлов. Установлено, что на скорость травления материалов влияют состав и концентрация электролита, кристаллографическая ориентация поверхности, плотность анодного тока. При лазерной активации на скорость травления влияют такие технологические параметры лазерного излучения как энергия в импульсе, длина волны излучения, временной режим генерации.

Проанализировать кинетику локального травления металла, можно зная константы скорости реакций травления по нормальному и тангенциальному направлениям.

С точки зрения химической кинетики электрохимическое травление можно представить как физико-химический процесс, состоящий из двух стадий, каждая из которых характеризуется своей константой скорости. Изменение глубины ямки травления h и её радиуса r с течением времени травления могут быть представлены следующими эмпирическими соотношениями [1]:

$$h = h_0 \left[1 + \frac{1}{k_1 - k_2} \left(k_2 e^{-k_1 t} - k_1 e^{-k_2 t} \right) \right], \quad (1)$$

$$r = r_0 \left[1 + \frac{1}{k_3 - k_4} \left(k_4 e^{-k_3 t} - k_3 e^{-k_4 t} \right) \right], \quad (2)$$

где k_1, k_2 – коэффициенты скорости травления в вертикальном направлении;

k_3, k_4 – коэффициенты скорости травления в горизонтальном направлении.

На основе экспериментально полученных лазерным электрохимическим методом профиллограм травления металлической фольги при различной частоте следования лазерных импульсов и различном времени травления, рассчитаны соответствующие константы скорости. Например, для медной фольги, полученной при энергии 1 Дж в импульсе, частоте 2 Гц, длительности импульса 10^{-3} с и времени травления 195 с и на основании соотношений (1) и (2), рассчитаны константы скорости k_1, k_2, k_3 и k_4 . Для частоты следования 2 Гц они имеют значения $k_1 = 0,018 \text{ с}^{-1}, k_2 = 0,017 \text{ с}^{-1}, k_3 = 0,028 \text{ с}^{-1}, k_4 = 0,026 \text{ с}^{-1}$. Аналогичный анализ был проведен и для зон травления, полученных при частотах следования 1 и 5 Гц. В частности, показано, что увеличение частоты следования импульсов обуславливает рост констант скорости, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.