

Анализ режимов наносекундной лазерной абляции тонких медных пленок на диэлектрических подложках в случае ненулевой скорости перемещения лазерного луча*

*И. И. Расулов¹✉, И. О. Кожевников¹, А. А. Сердобинцев¹,
А. М. Захаревич¹, А. В. Стародубов^{1,2}*

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

²Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН

✉ rasulov.ilya@mail.ru

Для эффективного использования процесса импульсной лазерной абляции в целях изготовления миниатюрных планарных структур на диэлектрических подложках необходим детальный анализ и оптимизация режимов микрообработки [1]. Целью данной работы является проведение расчёта на основе экспериментальных данных погонной интенсивности лазерного излучения в случае ненулевой скорости перемещения лазерного луча и определение её порогового значения, необходимого для эффективного удаления медной пленки микронной толщины. Расчёты были проведены для случая лазерного луча с равномерным распределением интенсивности по сечению пучка [1] (упрощенный случай) и для случая Гауссова лазерного пучка [2] (соответствует условиям эксперимента). Все расчеты производились в среде Wolfram Mathematica. Распределение плотности энергии по сечению лазерного пучка, соответствующее Гауссовому распределению имеет вид [2]:

$$F(x, y) = F_0 e^{\frac{-2(x-x_0)^2 + 2(y-y_0)^2}{r_0^2}}, \quad (1)$$

где x_0 и y_0 – координаты центра лазерного пучка, r_0 – радиус лазерного пучка, а максимальное значение плотности энергии в центре лазерного пучка $F_0 = \frac{2E_p}{\pi r_0^2}$ определяется энергией одиночного импульса E_p .

В ходе эксперимента использовался лазерный станок Минимаркер 2 – 204 с следующими параметрами лазерного излучения: длительность лазерного импульса 8 нс, средняя мощность 6 Вт, частота следования импульсов 100 кГц, скорость следования луча лазера регулировалась от

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-07-00929).

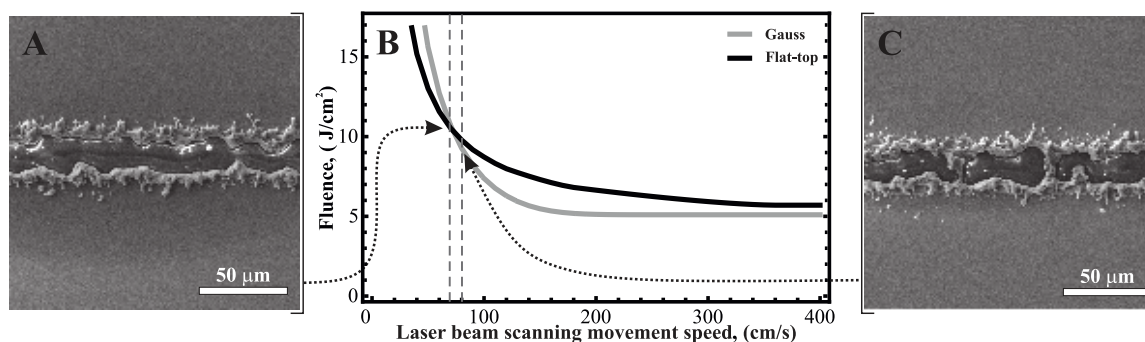


Рис. 1. Зависимость плотности мощности от скорости (B). Серая линия соответствует расчётам с учётом равномерного распределения интенсивности по сечению лазерного луча, чёрная линия – распределению по Гауссу. На фотографии (A) слева представлена фотография с сканирующего электронного микроскопа результата микрообработки при скорости перемещения лазерного луча 70 см/с, а на фотографии (C) справа – при скорости 80 см/с

10 до 400 см/с с шагом в 10 см/с, радиус лазерного луча в зоне фокуса при вышеуказанных параметрах составил 18 мкм. В качестве образца для микрообработки использовалась пленка меди толщиной 2 мкм на диэлектрической подложке в виде покровного стекла для микроскопов. Шаблон для микрообработки выступала линия длиной 2 мм. Анализ результатов микрообработки с помощью сканирующей электронной микроскопии показал, что при скорости в 70 см/с наблюдается эффективное удаление материала, в то время как при 80 см/с в зоне абляции наблюдаются остатки материала. Таким образом, погонное значение интенсивности лазерного излучения при скорости перемещения лазерного луча в 70 см/с выступает пороговым значением для эффективного удаления медного покрытия толщиной 2 мкм. В дальнейшем полученные результаты будут распространены на медные покрытия разной толщины. Установленная зависимость позволит прогнозировать режимы эффективного удаления покрытий при разной скорости перемещения лазерного луча и мощности лазерного излучения.

Список литературы

1. Расулов И. И., Галушка В. В., Сердобинцев А. А., Кожевников И. О., Стародубов А. В. Влияние параметров наносекундного лазерного излучения на процесс абляции тонких медных металлических пленок на твердой диэлектрической подложке // «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика» Сборник трудов XV Всероссийской конференции молодых ученых. Саратов, 2020, с. 205–206.
2. Zemaitis A., Gaidys M., Brikas M., GeCys P., RaCiukaitis G., Gedvilas M. Advanced laser scanning for highly-efficient ablation and ultrafast surface structuring: experiment and model // Sci. Rep. 2018. Vol. 8. 17376.