

МЕТАЛЛИЗАЦИЯ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ НАНОСЕКУНДНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Представлено исследование влияния параметров наносекундного лазерного излучения на качество поверхности и степень металлизации алюмонитридной керамики для формирования алюминиевого проводящего слоя с наименьшим сопротивлением. Проанализированы зависимости сопротивления, шероховатости поверхности и толщины полученного проводящего слоя от плотности энергии, длительности и перекрытия импульсов. Получена температурная зависимость сопротивления при охлаждении до температуры жидкого азота, проведён анализ нанесенного методом магнетронного напыления медного покрытия и исследована адгезионная прочность соединений медного, алюминиевого слоя и подложки AlN с помощью «скретч-тестера».

A.A. SVIRIDOVA, A.S. SHCHEKIN, V. N. PETROVSKIJ
National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

METALLIZATION OF ALUMINUM NITRIDE BY NANOSECOND PULSED LASER RADIATION

The study examined the effects of nanosecond pulse laser radiation parameters on the quality of the metallized surface and the degree of metallization of AlN ceramics in order to form the lowest resistance conductive layer. The dependences of the resistance, surface roughness, and thickness of the resulting conductive layer on the laser fluence, duration, and overlap of pulses are analyzed. The temperature dependence of the resistance during cooling to the temperature of liquid nitrogen is obtained, the analysis of the copper coating applied by magnetron sputtering is carried out, and the adhesive strength of the compounds of the copper, aluminum layers and the AlN substrate is investigated using a scratch tester.

Металлизированные подложки из нитрида алюминия (AlN) играют важную роль в производстве современной микроэлектроники. Металлизацию керамических диэлектрических подложек традиционно выполняют с помощью многоступенчатых и требующих значительных ресурсов методов вакуумного напыления, химико-электролитической металлизации и вжигания проводящих паст. Лазерная обработка – эффективный способ модификации поверхности материала и металлизации AlN, обеспечивающий высокую точность и гибкость управления процессом с контролем качества металлизированной поверхности и степени металлизации [1]. Лазерная металлизация AlN обеспечивает меньшую ширину проводящей дорожки, определяемую параметрами лазерной обработки, и лучшую адгезионную прочность металлизированного слоя и подложки AlN, что способствует упрощению производства металлизированных структур сложной геометрии и меньших размеров, а также эффективному использованию других методов металлизации для получения составного слоя с меньшим значением сопротивления. Метод прямой лазерной металлизации обеспечивает формирование проводящих слоев путем термического воздействия лазерного излучения на диэлектрическую подложку: $\text{AlN} + h\nu \rightarrow \text{Al} + \text{N}$ [2;3].

Целью работы было формирование проводящего слоя на поверхности подложки из нитрида алюминия с минимальным сопротивлением при лазерной обработке наносекундным импульсным лазерным излучением с длиной волны $\lambda=1,064$ мкм с контролем качества поверхности и степени металлизации, изучение свойств медного слоя, нанесённого на модифицированную лазером область методом магнетронного напыления, а также определение адгезионной прочности медного покрытия.

В работе было показано, что сопротивление проводящего слоя обратно пропорционально квадратному корню из длительности импульсов, что связано с пропорциональностью толщины металлизированного слоя толщине прогретого путем теплопроводности слоя, показано наличие оптимальных значений перекрытия импульсов по направлению сканирования (Ox) равного 50% и направлению шага (Oy) равного 96% и 99,7% для длительностей импульсов 200 и 4 нс соответственно. При использовании оптимальных перекрытий импульсов с наибольшей плотностью энергии был сформирован проводящий слой с минимальным сопротивлением, шероховатостью поверхности и максимальной производительностью процесса. В рамках работы был показан металлический характер зависимостей сопротивления от температуры при охлаждении до температуры жидкого азота для металлизированных лазерным излучением с длительностью импульсов 4 нс образцов при трёх значениях плотности энергии с температурным коэффициентом сопротивления для наибольшей исследуемой плотности энергии $\alpha=4,7 \cdot 10^{-3}$ 1/К. Проведён анализ нанесенного методом магнетронного напыления медного покрытия со снижением общего сопротивления в несколько раз и установлено, что корректные измерения адгезионной прочности медного слоя к алюминию при недостаточном количестве алюминия, сформированного в процессе лазерной металлизации, и адгезии медного слоя к подложке из AlN с помощью скретч-тестера невозможны из-за вдавливания металла вглубь керамики, адгезионная прочность медного покрытия к алюминию для металлизированных длительностью 200 нс с наибольшей плотностью энергии импульсов образцов составляет около 15 Н.

Список литературы

1. Sviridova A. A., Shchekin, A. S., Petrovskiy, V. N. and others // Laser Phys Lett. 2024. Vol. 21, № 5. P. 055601.
2. Kozioł P. E., Antończak A. J., Szymczyk P. and others // Appl. Surf. Sci. 2013. Vol. 287. P. 165–171.
3. Yang Q., Yang C., Lv Z. and others // J. Mater. Sci. 2019. Vol. 54, №. 22. P. 13874-13882