

## ФОРМИРОВАНИЕ МИКРООТВЕРСТИЙ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ КРЕМНИИ ПЕРКУССИОННЫМ НАНОСЕКУНДНЫМ ЛАЗЕРНЫМ СВЕРЛЕНИЕМ

Рассмотрены базовые принципы лазерного сверления. Проведено исследование влияния параметров лазерного излучения на конусность формируемых отверстий при перкуSSIONном лазерном сверлении с использованием статистических методов. С помощью дисперсионного анализа рассчитано влияние каждого из рассматриваемых параметров.

N.V. GRECHIKHIN, A.S. SHCHEKIN, V.N. PETROVSKIY, A.R. BURKHANOV  
National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

## FORMATION OF MICROHOLES IN MONOCRYSTAL SILICON BY PERCUSSION NANOSECOND LASER DRILLING

The basic principles of laser drilling are considered. A study was carried out of the influence of laser radiation parameters on the taper of formed holes during percussion laser drilling using statistical methods. Using variance analysis, the influence of each of the parameters under consideration was calculated.

Основной проблемой лазерного сверления является конусность получаемых отверстий. Исходя из этого, целью данной работы является нахождение оптимального режима сверления кремния МОРА (Master Oscillator Power Amplifier) лазером, для получения минимального угла конусности отверстий.

В работе представлен анализ конусности отверстий в пластине кремния, получаемых наносекундным лазерным сверлением. Измерение параметров получаемых отверстий проводится на оптическом микроскопе Olympus.

Для проведения исследования влияния входных параметров системы на выходные, часто используют методику планирования эксперимента Тагучи[1]. Она является разновидностью факторных экспериментов. Данный вид эксперимента позволяет значительно уменьшить время, затраченное на исследование. Полный факторный эксперимент представляет собой полный анализ влияния каждого входного параметра на определенный выходной параметр системы. Методика Тагучи позволяет сократить количество экспериментов путем составления ортогональных матриц планирования эксперимента. Выходным параметром системы в данном исследовании является угол конусности  $\theta = \arctg\left(\frac{D1-D2}{2t}\right)$ , где D1 и D2 – диаметры входного и выходного отверстий соответственно, t – толщина пластины. С помощью программы MINITAB было рассчитано влияние средней мощности лазерного излучения, частоты следования импульсов и времени экспозиции на конусность получаемых отверстий (рис. 1). Для достоверности результатов, каждый эксперимент проводился 5 раз, и полученная конусность является усредненной по пяти отверстиям.

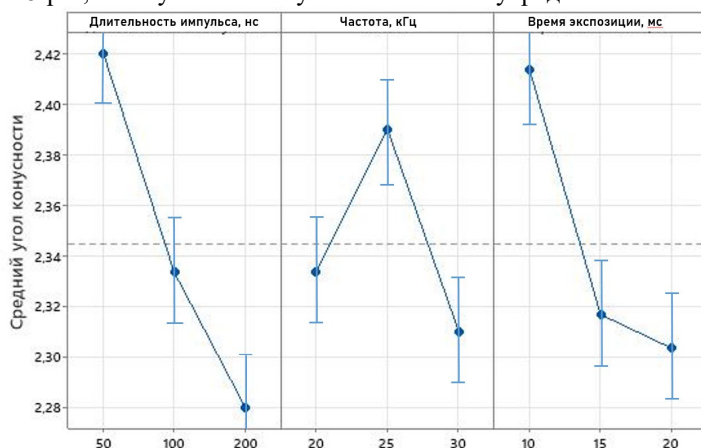


Рис. 1. График влияния параметров лазерного излучения на средний угол конусности

Дисперсионный анализ показал, что наибольшее влияние на конусность отверстий оказывает длительность импульса и время экспозиции. Оптимальный набор рассматриваемых параметров лазерного излучения для получения минимального угла конусности есть длительность импульса - 200 нс, частота следования импульсов - 30 кГц, время экспозиции - 20 мс. При данных значениях факторов конусность получаемых отверстий является минимальной. Полученные результаты можно применить на практике непосредственно для регулировки параметров лазерного излучения с целью изготовить отверстия с минимальной конусностью, а также для дальнейших исследований в целях улучшить параметры получаемых отверстий.

### Список литературы

1. Roy RK (2010) A primer on the Taguchi method. Society of Manufacturing Engineers, Dearborn.