

ТЕПЛОВЫЕ ПОЛЯ В КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ПРОШИВКЕ ОТВЕРСТИЙ

Чан Н.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Ланин В.Л. – д-р т. н., профессор

При моделировании тепловых полей в кремниевых подложках установлено, что уменьшение радиуса лазерного излучения ведет к росту температуры нагрева в зоне обработки ввиду большей концентрации источника тепла. Время нагрева для прошивки отверстия должно находиться в пределах 4–5 с при радиусе лазерного пучка 1 мм, и в пределах 70 с при радиусе 2 мм.

Лазерное излучение – это один из видов электромагнитной энергии и, следовательно, взаимодействие лазерного излучения с веществом – это взаимодействие с веществом электромагнитной волны со своими специфическими свойствами и характеристиками.

Методы обработки материалов с использованием концентрированных потоков энергии с высокой экономической эффективностью применяются при изготовлении деталей и узлов различных машин и агрегатов. Большинство лазерных технологий основаны на тепловом действии излучения на твердые материалы. Характер тепловых процессов определяется теплофизическими характеристиками излучения: плотностью мощности, времени воздействия, пространственным распределением интенсивности по сечению пучка и его геометрическими параметрами [1].

Поглощение лазерного излучения твердым телом происходит на глубине его проникновения $\delta = 1/\alpha$ (около 10^{-5} - 10^{-6} см для металлов) по закону Бугера–Ламберта [2]:

$$q(x) = q(0) (1 - R)e^{-\alpha x}, \quad (1)$$

где α – поглощательная способность излучения материалом; q – плотность мощности излучения; R – коэффициент отражения излучения поверхностью.

Далее в процессе действия лазерного излучения происходят:

- нагрев поверхности материала от исходной (начальной) температуры до температуры плавления $T_{пл}$;
- дальнейший нагрев и плавление уже приповерхностного слоя с поглощением дополнительной удельной теплоты плавления $L_{пл}$;
- последующий нагрев поверхности до ее кипения, сопровождаемый интенсивным испарением и поглощением дополнительно энергии на парообразование (удельной теплоты парообразования $L_{исп}$);
- движение испаряемой поверхности вглубь материала со скоростью V_0 и образование над поверхностью плазмы, содержащей ионы нагретого материала.

При разработке процессов лазерной технологии следует учитывать, что характер их протекания зависит от поглощательной способности зоны обработки для лазерного излучения, его пиковой мощности и длительности воздействия. Испарение материала из зоны лазерного воздействия является важным процессом, который следует использовать в операциях с удалением материала (прошивка отверстий, скрайбирование, очистка и т. п.), но который следует подавлять в операциях с преимущественным плавлением (сварка, пайка, наплавка и т. п.) [2].

Одно из современных направлений реализации 3D-модулей является технология TSV (Through Silicon Vias – сквозные отверстия в кремнии). Создать отверстия необходимого диаметра с соответствующим уровнем качества традиционными методами крайне затруднительно, а порой и невозможно. Лазерная обработка подложки – один из перспективных методов создания отверстий. При воздействии лазерного излучения на подложку происходит образование отверстия за счет плавления и испарения материала.

Рассмотрим одномерную модель нагрева полубесконечной среды ($z \geq 0$) неограниченным поверхностным тепловым источником. Пусть плотность мощности этого теплового источника [3]:

$$q_0 = \frac{AP_0}{\pi r^2}, \quad (2)$$

а время его действия:

$$t = \frac{2r}{v}, \quad (3)$$

Распределение температуры на поверхности в этом случае дается формулой [3]:

$$T = \frac{q_0}{\lambda} \sqrt{\frac{4at}{\pi}}, \quad (4)$$

где r – радиус лазерного пучка; v – скорость перемещения пучка относительно детали; P_0 – мощность лазерного пучка; A – поглощательная способность; λ – теплопроводность; a – температуропроводность.

Из формулы (1) и (3), в центре пятна нагрева плавление материала начинается через время:

$$t = \left(\frac{\pi r^2 \lambda T_{пл}}{AP_0} \right)^2 \frac{\pi}{4a}, \quad (5)$$

Моделирование температуры на поверхности кремния при лазерной обработке с помощью прикладного программного пакета MathCAD позволило получить зависимости температуры на поверхности от времени нагрева при различных радиусах лазерного пучка при $E = 2$ Дж и исходных данных (таблица 1) (рисунок 1).

Таблица 1 – Характеристики кремния

Параметр	Значение
Теплопроводность, λ	7-11 Вт/м.град
Температуропроводность, a	$8,8 \cdot 10^{-5}$ м ² /с
Температура плавления, $T_{пл}$	1414 С
Поглощательная способность, A	0,1

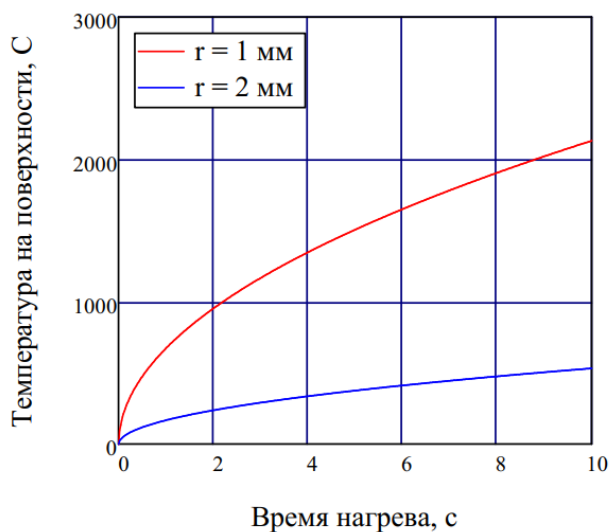


Рисунок 1 – Зависимость температуры на поверхности кремния от время нагрева при различных радиусах лазерного пучка.

При уменьшении радиуса лазерного излучения растет температура нагрева в зоне обработки ввиду большей концентрации источника тепла. Для достижения температуры плавления кремния ($T = 1414$ С) время нагрева лазерного излучения должно находиться в пределах 4–5 с при радиусе лазерного пучка $r = 1$ мм, и в пределах 70 с при радиусе $r = 2$ мм.

Список использованных источников

1. Мурзин, С.П. Лазерные технологии обработки материалов: учеб. пособие / С.П. Мурзин, В.Н. Илюхин. – Самара, 2006. – 98 с.
2. Вейко, В.П. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии». Раздел: Введение в лазерные технологии. / В.П. Вейко, А.А. Петров. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 143 с.
3. Климков, Ю.М. Взаимодействие лазерного излучения с веществом: учеб. пособие / Ю.М. Климков, В.С. Майоров, М.В. Хорошев. – М.: МИИГАиК, 2014. – 108 с.