

УДК 622.372.3

*Т.Б. Теплова, А.С. Коньшин, О.М. Гридин,  
С.А. Плотников*

**ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ  
НА КАЧЕСТВО ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
МОНОКРИСТАЛЛА ЛЕЙКОСАПФИРА**

Семинар № 23

---

**И**нтегральная и функциональная микроэлектроника являются фундаментальной базой развития всех современных систем радиоэлектронной аппаратуры. Микроэлектроника является одной из важнейших областей применения твердых материалов. К конструкции и материалу подложек предъявляется ряд требований, вытекающих из необходимости воспроизведения и обеспечения заданных электрических параметров элементов и интегральных микросхем (ИМС), их надежности в самых различных условиях эксплуатации, и обусловленных также особенностями технологии изготовления и сборки ИМС. Современный научно-технический прогресс неразрывно связан с разработкой и освоением новых материалов и технологий. Именно материалы стали ключевым звеном, определяющим успех многих инженерных решений при создании сложнейшей электронной аппаратуры. На смену кремнию и керамике в последнее время приходит такой материал как лейкосапфир, обладающий хорошими диэлектрическими свойствами. Кристаллы искусственного лейкосапфира ( $Al_2O_3$ ) выращивают методом Вернеля и Киропулоса. Хотя синтез материала освоен недавно, но стоимость его относительно невелика. Одна-

ко технология его обработки крайне затруднена из-за высокой твердости и анизотропных характеристик материала.

Традиционными способами обработки лейкосапфира является шлифование и полирование. Но при этих способах получают большой процент некачественных изделий, не соответствующих требованиям к подложкам для микроэлектроники [1].

Принципиально новым эффективным способом обработки твердых минералов и кристаллов является шлифование в режиме пластичности [2]. На шлифовальной установке, обладающей достаточной жесткостью и высокой точностью, позволяющей обеспечить малый сьем материала и малую врезную подачу возможно создать условия для шлифования хрупких материалов в режиме пластичности. При малой глубине резания и низких врезных подачах все хрупкие материалы могут обрабатываться в режиме пластического течения, а не хрупкого разрушения.

На станочном модуле АН15ф4 с ЧПУ, реализующим способ размерно-регулируемого микрошлифования в режиме пластичности [3], были проведены ряд экспериментов по микрошлифованию плоских поверхностей лейкосапфира (ППЛ). Первоначально для микро-

шлифования ППЛ были применены те же режимы обработки, что и при обработке плоских поверхностей натурального алмаза высокого качества. Съем припуска осуществлялся по специальной управляющей программе в системе ЧПУ станка, представляющей собой многократно зацикленный алгоритм, согласно которого первые 3 врезные подачи составляли по 0,25 мкм; следующие 4 врезные врезные подачи составляли по 0,2 мкм, затем 5 врезных подач составляли по 0,15 мкм. Затем 7 врезных подач осуществляли по 0,1 мкм и последние 14 врезных подач осуществляли по 0,05 мкм. Каждый цикл заканчивался отводом обрабатываемого образца на величину 1,7 мкм. Итого за каждый один цикл стол совершал 34 двойных прохода, при этом суммарное перемещение обрабатываемой поверхности (ОП) на производящей инструментальной поверхности (ПИП) в сторону удаления припуска (с учетом отскока) составила 2 мкм. Но микрошлифование лейкосапфира на этих режимах не имело успеха. На поверхности монокристалла образовывались сколы и появлялись трещины уходящие вглубь кристалла [4].

Для получения бездефектной поверхности монокристалла лейкосапфира были проведены эксперименты по микрошлифованию с варьированием величины врезной подачи по различным компьютерным программам ЧПУ станочного модуля. Но положительный результат обработки не был получен.

Для решения этой задачи был проведен теоретические исследования и эксперименты по изучению нестационарного температурного поля по определению теплопроводности, теплоемкости, теплового расширения обрабатываемого монокристалла лейкосапфира и его зависимости от температуры. Аналитическое исследование теплопровод-

ности сводится к изучению пространственно-временного изменения основной физической величины-температуры, характерной для данного явления, то есть к нахождению зависимости

$$T = f(x, y, z, t),$$

где  $x, y, z$  - пространственные координаты в декартовой системе,  $t$  - время.

Изменение объема твердых тел при нагревании обусловлено изменением потенциала взаимодействия атомов в кристаллической решетке. Степень изменения объема или одного из линейных размеров характеризуется соответственно объемным и линейным коэффициентом теплового расширения. Как правило, с ростом температуры наблюдается устойчивое и равномерное возрастание коэффициента линейного расширения  $\alpha$ . Однако при появлении фазовых переходов, полиморфных превращений, процессов дегитратации и т.д. возможны различные переломы кривой температурной зависимости и даже уменьшение размеров образца с нагревом.

Т.к. при размерно-регулируемом шлифовании врезная подача кристалла происходит по оси  $Z$ , то наиболее важным параметром, требующим первостепенное определение, является линейное расширение кристалла лейкосапфира вдоль оси  $Z$ . Расширение кристалла лейкосапфира параллельно другим осям компенсируется жестким закреплением кристалла в оправке в этих направлениях.

Наиболее простым и быстрым для определения линейного расширения материала является метод дилатометра. Диламетрический метод основан на измерении длины (объема) образца посредством контактирующего с ним стержня, соединенного с датчиком перемещений. В этом методе величина измерения линейного размера образца



*Рис. 1*

передается из зоны нагрева по средством стержня из плавленного кварца, собственный коэффициент расширения исключительно мал и постоянен вплоть до температуры 1000 °С.

В процессе микрошлифования обрабатываемая поверхность кристалла, находящаяся в контакте с режущей поверхностью шлифовального круга нагревается под действием сил взаимодействия между силами трения и внутренними силами сопротивления процессу разрушения на мезомасштабном уровне кристаллической решетки.

При этом, посредством теплообмена происходит передача тепла нижележащим слоям обрабатываемого кристалла. Одновременно происходит рассеивание тепла с поверхностей, не подвергающихся непосредственному контакту с поверхностью шлифовального круга.

При микрошлифовании под действием повышения температуры происходит

линейное расширение обрабатываемого кристалла. При этом увеличивается усилие прижима кристалла к шлифовальному кругу, что аналогично дополнительной врезной подаче.

Поэтому при выборе рациональных режимов микрошлифования кристалла с получением заданных выходных параметров по размеру и шероховатости необходимо учитывать тепловое воздействие на кристалл в процессе обработки.

Экспериментальные исследования по определению линейного теплового расширения кристалла лейкосапфира проводились на установке, изображенной на рис. 1.

По данным экспериментальных исследований получены зависимости линейного расширения монокристалла лейкосапфира от температуры и коэффициента линейного расширения от температуры. Численные и графические зависимости приведены в табл. 1, 2 и на рис. 2, 3.

Из анализа результатов эксперимента можно сделать вывод о влиянии оказывает теплового расширения кристалла в зоне резания при микрошлифовании монокристаллов лейкосапфира. Как видно из рис. 2, линейное тепловое расширение лейкосапфира имеет нелинейную зависимость. При непрерывном режиме съема припуска из-за повышения

температуры в зоне резания имеет место резкое увеличение размера монокристалла, что при неизменности остальных параметров процесса микрошлифования приводит к увеличению нормальной составляющей силы резания, переходу процесса микрошлифования из области квазипластичного резания в область хрупкого разрушения.

Таблица 2  
*Зависимость коэффициента линейного расширения монокристалла лейкосапфира от температуры*

Температура, °С	Коэффициент линейного расширения
50	10,5
100	24,2
150	37,9
200	51,6
250	65,2
300	79
350	92,7
400	106,4

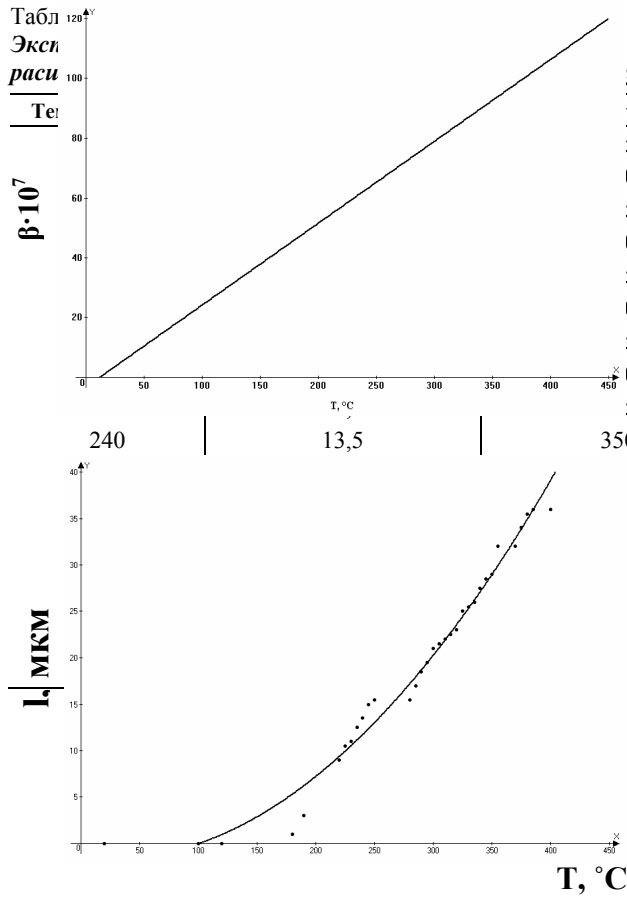


Рис. 2. Зависимость коэффициента линейного расширения

кристалла лейкосапфира, мкм/град. температуры. Коэффициент корреляции 1,00,  $\beta \cdot 10^7 = -3.2 + 0.274 \cdot T$

Рис. 3. Зависимость линейного расширения кристалла лейкосапфира от температуры  $l = (2.8991878 \cdot 10^{-4}) \cdot T^2 - 0.0146075 \cdot T - 1.4405964$

Коэффициент корреляции 1,00,  $\beta \cdot 10^7 = -3.2 + 0.274 \cdot T$

5	22,5
0	27,5
5	29
0	32
5	32
0	34
5	35,5
0	36
5	36

том критического значения температуры в зоне резания,

также были найдены рациональные режимы микрошлифования плоской поверхности монокристалла лейкосапфира с получением бездефектной поверхности нанометрового микро-рельефа.

В результате этой работы была получена бездефектная поверхность монокристалла лейкосапфира (рис. 4).

Поэтому возможно теоретически найти область температур обработки, при которых возможно производить микрошлифование кристалла в режиме квазипластичности с получением бездефектной поверхности. Были проведены эксперименты микрошлифования с уче-

После проведения шлифования алмазным кругом диаметром 250мм на связке из костной муки с зернистостью 3-2 мкм было проведено исследование поверхности и измерение шероховатости. Измерения проводились в ЦЕНИ ИОФ им А.М. Прохорова РАН на интерферометре белого света "Zigo" newview 5000, разрешение в плоскости объекта 0,45 мкм по оси Y - 1 А. Исследования поверхности показали, что при отсутствии дефектов, привнесенных процессом шлифования, получен нанометровый рельеф. При этом на обработанной поверхности наблюдается градиент микронеровностей с минимумом на периферии. Шероховатость поверхности на периферии в среднем имеет величину

$R_a = 8,08$  нм. Причем имеются участки с шероховатостью  $R_a=1,946$  нм.

Определение рациональных режимов обработки лейкосапфира и устранение негативного влияния возникающих тепловых процессов, возникающих во время шлифования на качество обрабатываемой поверхности лейкосапфира дает возможность автоматизировать процесс производства лейкосапфировых подложек с получением по-верхностей высокого качества.

Кроме этого были сделаны выводы о возможности конструктивных изменений станочного модуля для компенсации негативного влияния теплового расширения.

*Авторы выражают благодарность сотруднику кафедры Морису Р.Е. и студенту Убейконь И. за помощь в проведении эксперимента.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплова Т.Б., Коньшин А.С., Соловьев В.В., Ашкинази Е.Е. О выборе рациональных режимов процесса микрошлифования монокристалла лейкосапфира. – М: Изд-во МГГУ. ГИАБ, №8, 2005.

2. Теплова Т.Б. Перспективы технологии размерно-регулируемого шлифования твердых

высокопрочных материалов. – М: Изд-во МГГУ. №7, 2004.

3. Коньшин А.С., Сильченко О.Б., Сноу Б.Д. «Способ микрошлифования твёрдоструктурных материалов и устройство для его реализации». Патент РФ №2165837 от 27.04.2001 г.

4. Теплова Т.Б., Коньшин А.С., Соловьев В.В. Особенности микрошлифования кристаллов лейкосапфира на станочном модуле с ЧПУ. – М: Изд-во МГГУ. №3, 2005.



Рис. 4

#### Коротко об авторах

Теплова Т.Б. – кандидат технических наук, докторант, кафедра «Технологии и процессы»,

Коньшин А.С. – кандидат технических наук, доцент,

Гридин О.М. – доктор технических наук, профессор,

Плотников С.А. –

Московский государственный горный университет.

