

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК ИЗ ЛЕЙКОСАПФИРА

Хандожко А.В., Добровольский Г.И., Бизюкина Н.А. (БГТУ, г. Брянск, Россия)
Тел. (0842) 588 289; E-mail msi@tu-bryansk.ru

Abstract: *In the article the problem of effect of crystallographic orientation at the precision machining of leucosapphire. Analyzes the problems that arise when processing. Describes how to install oriented workpieces on the machine.*

Кристаллические материалы все чаще используют в качестве конструкционных. Рост их потребления, а значит и обработки интенсивно увеличивается. Обработка кристаллов имеет свои особенности, которые в первую очередь связаны с явно выраженной анизотропией свойств. Эта анизотропия проявляется не только в различии физико-механических свойств, но и в обрабатываемости, возможности обеспечения определенных параметров качества поверхностного слоя. Одним из таких материалов является лейкосапфир. Для некоторых изделий, например, подложек для полупроводниковых приборов технологии обработки кристаллических материалов относительно хорошо проработаны, выпускается серийное оборудование, инструмент, другая технологическая оснастка. Но сегодня из кристаллических материалов делают детали для машиностроения, для других областей. Опыт непосредственного переноса технологий электронной промышленности в эти области не всегда возможен с учетом специфики деталей и объема производства. В полной мере это относится к лейкосапфиру.

Перенос рекомендаций по обработке других кристаллов, а также хрупких материалов (стекло, ситаллы) на лейкосапфир не всегда корректен. Несмотря на схожесть характеристик, важное свойство — высокая твердость — требует внесения существенных корректировок в технологию механической обработки. Лейкосапфир можно резать только алмазом (в корпусе или в виде свободного абразива). При этом из-за высокой твердости алмазные зерна быстро изнашиваются, что затрудняет стабилизацию технологического процесса.

Кристаллы выращивают различными способами, но наиболее распространенными и перспективными являются методы выращивания из расплава, позволяющие получать кристаллы больших размеров: методы горизонтально направленной кристаллизации, Киропулоса, Чохральского, Стокбаргера-Бриджмена. Основным методом получения монокристаллов лейкосапфира является метод Киропулоса, отличающийся технологической простотой, надежностью и экономической эффективностью. При этом получают заготовки (були) неправильной грушевидной формы диаметром до 300 мм и высотой до 500 мм. Для получения изделий заданных форм и размеров необходима дальнейшая механическая обработка заготовок. Требования к правильности формы, расположению поверхностей относительно кристаллографических осей, точности размеров, шероховатости очень высоки. Например, точность ориентации заготовки цилиндров для оптоэлектроники в плоскости C/A/M/R обычно задается $\pm(0,1?0,2)?$, а в ряде случаев и $\pm 0,05?1$].

Выращенные кристаллы являются первичными заготовками. Из них уже вырезают заготовки, из которых, в зависимости от сортности, изготавливают детали. Как правило, вырезка производится путем алмазного кольцевого сверления.

Лейкосапфир имеет гексагональную кристаллическую решетку. Наиболее часто встречающиеся в практике использования сапфира плоскости показаны на рис. 1.

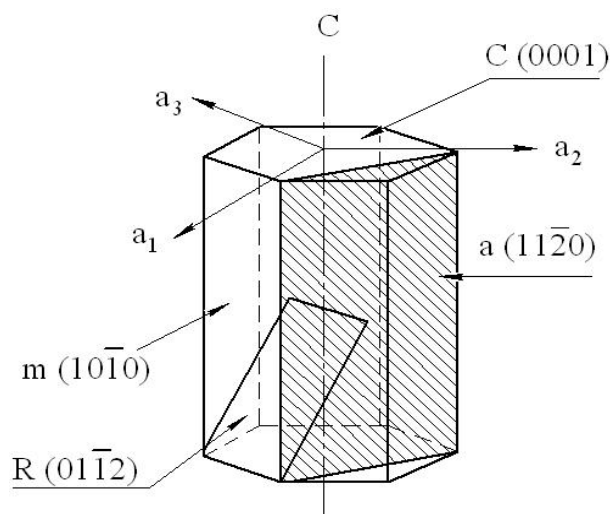


Рис. 1. Кристаллическая решетка лейкосапфира и расположение осей

соответствующих осей затравки кристалла, а также от точности ее ориентации и закрепления в процессе выращивания. Таким образом, ориентация деталей не совпадает с ориентацией направления оптимального роста кристалла (були). Это усложняет получение вторичных заготовок.

Выращенный кристалл не имеет точных поверхностей, от которых можно было бы восстановить положение кристаллографических плоскостей. В первом приближении, очень грубо можно установить направление плоскости C — вдоль этой оси на кристалле имеются характерные «складки» - плоскости спайности рис. 2.

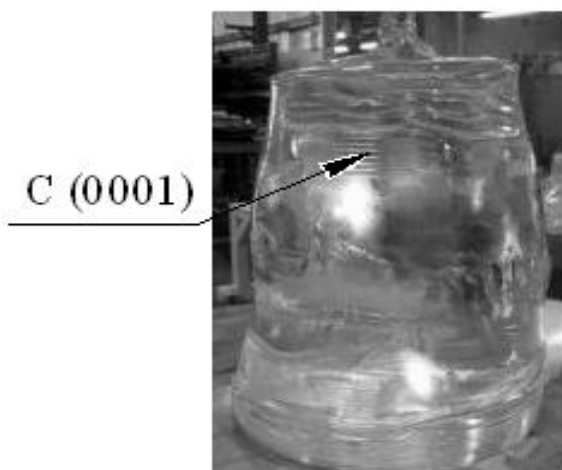


Рис. 2. Монокристалл лейкосапфира

На рис. 3 показана схема измерений. На базисной грани делают срез, устанавливают образец среза под углом θ к падающему рентгеновскому пучку 5, чтобы интенсивность отраженного от плоскости (0001) пучка 3, датчиком 2, достигла максимального значения. Для каждой кристаллографической плоскости существует свой угол θ , значение которого приводится в справочниках. Образец поворачивают в двух плоскостях: в плоскости, перпендикулярной его оси, и в плоскости падения пучка.

Подложки для электронных компонентов чаще всего делают в плоскостях C и R. Плоскость R(01 $\bar{1}$ 2) наклонена под углом 57°36' к плоскости C (0001) и под углом 32°24' к плоскости a (11 $\bar{2}$ 0) [2]. Выращивают монокристаллы лейкосапфира по направлениям, обеспечивающим минимальную плотность дислокаций. Это либо в направлении a (11 $\bar{2}$ 0) (первая ориентация), либо направление m (10 $\bar{1}$ 0) (вторая ориентация).

Расположение кристаллографических осей в буле зависит от расположения

обычно первоначальную обработку ведут, ориентируясь на это предварительно визуальное найденное положение плоскости C. В дальнейшем положение плоскости C уточняют, используя различные методы, в первую очередь рентгенографические. На практике обычно поступают так: булю устанавливают на станке, ориентируясь по видимым плоскостям спайности. От неё отрезают фрагмент, на котором проводятся инструментальные исследования, чаще всего с помощью рентгеновского дифрактометра.

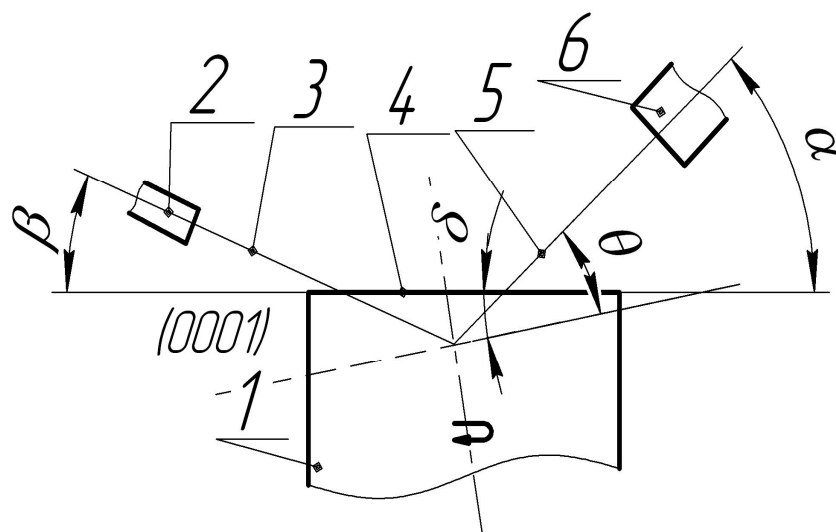


Рис. 3. Схема уточнения кристаллографических осей рентгеновским дифрактометрическим методом. 1, 4 – образец монокристалла, 2 – датчик, 3, 5 – отраженный и падающий лучи, 6 – источник рентгеновского излучения

В результате измерений определяют истинное положение кристаллографических осей и их угловое отклонение от плоскости выполненного среза [3]. Направления осей и величины погрешности наносят на образец маркером. С образца полученные данные зеркально переносят на монокристалл (рис.4).

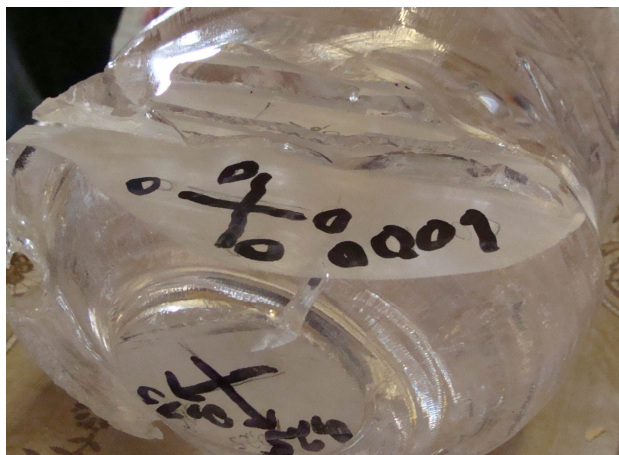


Рис.4. Кристалл лейкосапфира с базовым срезом

Кристалл с разметкой передается на операцию высверливания вторичных заготовок цилиндрических кернов. Это операция играет важное значение — ошибка в выборе ориентации цилиндра ведет к неисправимому браку. Операция выполняется на сверлильном станке кольцевым алмазным сверлом с использованием специальных установочных приспособлений.

Основную роль в обеспечении необходимой точности и кристаллографического направления заготовок играют установочные приспособления, которые позволяют осуществить правильное, точное базирование и надежное закрепление. Погрешности могут возникать как из-за ошибок базирования, так и из-за сдвига заготовки при обработке. Установка и надежное закрепление кристалла неправильной формы, вес которого может достигать 85кг. И больше, является сложной задачей. Дополнительные

трудности связаны с хрупкостью и низким коэффициентом трения. Поэтому конструкция приспособления включает большее число базирующих и крепежных элементов, по сравнению с традиционными решениями для обработки металла.

Для совмещения оси шпинделя с заданным кристаллографическим направлением заготовки приспособление должно обеспечить поворот установленной заготовки лейкосапфира в двух плоскостях с высокой точностью [4]. Приспособление должно быть переналаживаемым для закрепления кристаллов различной формы и размеров. Можно рассмотреть несколько вариантов решения этой конструктивной задачи: 1) приспособление на основе центрального сферического шарнира — поворот в плоскостях осуществляется за счет центрального шарнира, на котором установлена плита с закрепленной заготовкой; 2) приспособление, в котором наклон плоскости с закрепленной булей регулируется несколькими винтами, опорные торцы которых образуют плоскость, наклоненную к оси шпинделя по двум осям; 3) приспособление с двумя цилиндрическими шарнирами в котором каждый шарнир позволяет осуществить поворот отдельной плоскости, независимо от другой.

Каждое из указанных направлений имеет преимущества и недостатки. С точки зрения точности предпочтителен третий вариант, особенно при использовании настроечных узлов синусного типа. Но в этом случае конструкция приспособления представляется очень громоздкой, точность для, по сути черновой операции, чрезмерной. Два других варианта близки по своим характеристикам. Конструкция с центральным сферическим шарниром несколько точнее с точки зрения установки и настройки на угол. Вариант с несколькими опорными винтами проще. Для исследований было отдано предпочтение варианту с центральным сферическим шарниром.

Отсчет угла поворота возможен за счет специальных устройств с угловыми шкалами, элементов синусного типа, специальных датчиков, а также универсальных решений с применением индикаторов часового типа. С целью снижения затрат, было принято решение использовать для настройки углов обката плоскости среза на котором выполнялись рентгеновские измерения индикатором, закрепленном на шпинделе станка. Найденные угловые отклонения пересчитывают в линейные перемещения по двум осям, которые и выполняют, контролируя их по индикатору.

Необходимо также учитывать, что при высверливании керна, процедура правки сверла практически обязательна. Этот процесс выполнить без переустановки були сложно. Поэтому, конструкция установочного приспособления в идеале должна иметь две позиции: для сверления и для правки.

В результате проведенных работ разработаны и изготовлены несколько вариантов технологической оснастки, позволяющие выполнять высверливание кернов из були различных диаметров удовлетворительного качества.

Список литературы: 1. <http://www.techsapphire.ru/products/blanks>
2. Энциклопедия сапфира / Е.Р. Добровинская, Л. А. Литвинов, В.В. Пищик В.В. - Харьков: Институт монокристаллов, 2004. — 508 с. 3. Никифорова – Денисова С. Н. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. Кн. 4. Механическая и химическая обработка. – М.: Высш. шк., 1989 г. 4. Хандожко В.А. Особенности технологии механической обработки при получении заготовок из выращенного кристалла лейкосапфира // Научно-технический производственный журнал «Наукоемкие технологии в машиностроении», №2 2012 г., С. 19-24.