

УДК 681.518.5

## САПФИР

Середюк С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ежов В.Д.

Сапфир (лейкосапфир) один из самых удивительных материалов, созданных человеком. Химическая формула  $Al_2O_3$ , монокристалл.

Плотность 4 г/см<sup>3</sup>

Твердость по Моосу 9 (уступает только алмазу)

Тплавления = 2050 С

Ткипения = 2980 С

Удельное сопротивление  $5 \cdot 10^{18}$  Ом\*см (один из лучших диэлектриков). Высокая химическая стойкость – практически не растворим в щелочах и кислотах даже при высоких температурах. Оптически прозрачен в широком диапазоне длин волн, по внешнему виду практически не отличим от обычного стекла.

Область применения изделий из сапфира огромна. Из сапфира делают большие оптические окна для космических кораблей, вертолётов и самолётов. Такие же окна применяются в металлургии, атомной и химической промышленности и так далее. В медицине из сапфира изготавливают различного вида имплантаты, скальпели и другие инструменты. Особо широко применяются сапфировые подложки в электронной технике. Большое количество микросхем и других электронных приборов изготовлены на структурах «кремний на сапфире» (например, различного рода датчики высоких давлений и тензорезисторных преобразователей механических величин, выдерживающие большие дозы радиации и работающие в агрессивных средах). Сапфир применяется для производства часовых стёкол и линз, экранов сотовых телефонов, бижутерии, ювелирных изделий и так далее.

Подложки также являются одной из областей конструкционного применения сапфира. В качестве подложек интегральных микросхем, оптоэлектроники, микроэлектроники сапфир даёт возможность решить задачи повышения надёжности и стабильности параметров электронных устройств при работе в жёстких условиях эксплуатации (инертность, радиационная стойкость, высокие и низкие температуры, высокие механические нагрузки, ионизирующие излучения и другие). Подложки используются для эпитаксии полупроводниковых плёнок (Si, GaN, AlGaN и многих других). Возможность получения сапфировых подложек больших размеров позволяет снижать стоимость сформированных на них электронных приборов. В то же время отметим, что высокая твёрдость и химическая стойкость сапфира является серьёзным препятствием при реализации технологии резки слитков сапфира, шлифования и полирования пластин и подложек в промышленном производстве.

В 2008 г. была открыта новая возможность использования сапфира в качестве защиты в конструкциях бронежилетов, смотровых окон автомобилей, вертолётов, самолётов и ряда изделий военной техники. Структура брони представляет собой послойное расположение сапфира, стекла и пластмассы. Конусная пуля, столкнувшись с бронёй, в первую очередь встречается с сапфировым слоем, который меняет форму пули и сплющивает её. Последующие слои предназначены для остановки перемещения цилиндрической пули. Преимущества такой брони очевидны. Броня на основе сапфира толщиной 30 мм способна обеспечить такую же защиту, как бронестекло толщиной в 100 мм. Такая броня используется достаточно широко. Уже сегодня иллюминаторы космических кораблей делают из стекла на основе сапфира. Сапфир также используют для защиты солнечных батарей от метеоритного дождя и других внешних воздействий в космосе.

Благодаря износостойкости сапфир используется в качестве фильера для протяжки проволоки, наконечников измерительных щупов, сопел для пескоструйки и гидроабразивной

резки, нитеводителей на ткацких фабриках (Россия снабжает более половины мирового рынка), пропускные кольца дорогих спиннингов выполнены из полированного сапфира. Направляющие некоторых современных станков также делают из сапфира. Известны сапфировые подшипники трения и качения. Химическая стойкость позволяет использовать сапфировые тигли, мензурки, капилляры, матрицы и пуансоны в особочистых производствах. Насосы для хроматографов и разлива лекарств снабжены сапфировыми плунжерами.

Рост объёмов поставок изделий из сапфира на рынке за последние несколько лет способствовал активному развитию новых технологий, что привело к интенсивному применению сапфира в электронике и оптоэлектронике. Одно из самых главных применений сапфира на сегодняшний день – это светоизлучающие диоды (СИД). СИД широко используются в панелях телевизоров высокой чёткости, дисплеях компьютеров, в дорожных знаках, светофорах и разных табло, в экранах мобильных телефонов. Развитие также получает использование СИД в энергосберегающих системах общего освещения, так как позволяет экономить около 30% электроэнергии.

В настоящее время три четверти, выпускаемых в мире светоизлучающих диодов производится с использованием сапфира. Большинство светодиодов состоят из нитридов элементов III группы, которые наносятся на сапфировые подложки. Причина этому – особое эпитаксиальное соотношение между нитридами элементов III группы и сапфира, а именно, поворот решётки GaN на  $30^\circ$  по отношению к решётке сапфира позволяет добиться идеальной ориентации кристалла вдоль оси [0001]. Высокая термическая стойкость сапфира позволяет производить очистку подложки перед началом выращивания структуры СИД.

Потребление сапфира после 2010 г. растёт в среднем на 20% в год [1]. Основными потребителями сапфира являются США, Германия, Израиль, Китай, Тайвань, Швейцария, Россия, Чехия и некоторые другие страны. В тройку ведущих мировых производителей сапфира наряду с Россией («Монокристалл», г. Ставрополь) входят японская корпорация Куосега и американская компания Rubicon Technology. Завод «Монокристалл» – крупнейшая производственная площадка Европы по выращиванию искусственного сапфира для нужд электронной техники. Около 90% производимых в Ставрополе сапфировых подложек поставляются 50 азиатским, европейским и американским компаниям, работающим в электронной промышленности. В 2010 г. доля «Монокристалла» на мировом рынке сапфира составила около 25%.

#### Литература

1. Малюков С.П., Нелина С.Н., Стефанович В.А. Физико-технологические аспекты изготовления изделий из сапфира. Lap Lambert Academic Publishing. Германия. 2012. С. 163.