

УДК 621.3

ТЕПЛОТВОДЫ НА ОСНОВЕ АЛМАЗА

Диордица В.В.

Научный руководитель – Мартинович В.А., к.ф.-м.н., доцент

С появлением электронных приборов полностью изменилась жизнь человека. Внедрение электронных приборов в различные сферы человеческой деятельности в решающей степени способствует успешной разработке сложнейших научно-технических проблем, повышению производительности физического и умственного труда, улучшению экономических показателей производства. Но одновременно с появлением электронных приборов появились и проблемы их эксплуатации, основной из которых является противоречие между размерами и мощностью приборов, и отводом тепла в этих изделиях. И сегодня проблемы отвода тепла в изделиях силовой электроники приобретают особую актуальность в связи с повышением плотности упаковки тепловыделяющих электронных компонентов.

Проблема рассеяния тепла всегда является лимитирующей при конструировании изделий электроники повышенной мощности [1]. В процессах теплопередачи выделяют три принципиально различных способа передачи теплоты: используя свойства теплопроводности, путем теплового излучения или конвекции. Эти виды теплообмена в реальных условиях связаны между собой и проявляются одновременно. Однако максимальный вклад в процессы теплообмена вносит теплопроводность. Поэтому одним из возможных путей решения проблемы рассеяния тепла при конструировании изделий электроники повышенной мощности является создание теплоотводов, обладающих высокими электроизоляционными свойствами и вместе с тем хорошей теплопроводностью. Эту задачу можно решить следующими способами:

1. На поверхность металла с высокой теплопроводностью нанести слой керамики, стекла или органического изолирующего вещества.
2. Либо применить керамические или кристаллические теплоотводы с высокой теплопроводностью.

К традиционным системам охлаждения относятся радиаторы с пассивным и активным отводом тепла от нагретой поверхности, которые обеспечивают интенсивный теплообмен электронного устройства с окружающей средой. Площадь поверхности электронного устройства чрезвычайно мала (несколько квадратных сантиметров) и недостаточна для эффективного отвода тепловой мощности. Благодаря своей ребренной поверхности радиатор в сотни и даже тысячи раз увеличивает площадь его теплового контакта с окружающей средой, способствуя интенсивному теплообмену и кардинальному снижению рабочей температуры.

На практике термическое сопротивление радиатора во многом зависит не только от площади ребренной поверхности, но и от его конструктивных особенностей и технологии изготовления. Наиболее дешевы алюминиевые радиаторы, изготавливаемые методом прессования, который позволяет получить достаточно сложный профиль ребренной поверхности и достичь хороших теплоотводящих свойств. Складчатые радиаторы отличаются компактными размерами и высокой тепловой эффективностью. Но наилучшей тепловой эффективностью отличаются радиаторы, полученные прецизионной механической обработкой монолитных заготовок на специализированных станках с числовым программным управлением, однако себестоимость таких радиаторов достаточно высока.

Жидкостное охлаждение позволяет гораздо лучше отводить тепло от нагреваемого элемента, чем система воздушного охлаждения, но недостатками такой системы являются: сложность конструкции, увеличенная масса и меньшая надежность.

Термоэлектрические холодильники, работа которых основана на использовании эффекта Пельтье, достаточно эффективны, но отличаются низким КПД и, выполняя функции теплового насоса, сами являются мощными источниками тепла и создают дополнительную нагрузку для цепей питания. Кроме того, низкие температуры, возникающие в процессе работы холодильников Пельтье, способствуют конденсации влаги из воздуха, что представляет опасность для электронных компонентов, так как конденсат может вызвать короткие замыкания между элементами.

Благодаря уникальному сочетанию физических свойств привлекательным материалом для изготовления электронных устройств с экстремальными параметрами мог бы стать алмаз [2,3]. У алмаза при комнатной температуре рекордная среди всех известных материалов теплопроводность – 20–24 Вт/смК, т.е. в пять раз выше, чем у меди. Это связано с его рекордно высокой температурой Дебая $T_d=1860\text{K}$, благодаря чему комнатная температура является «низкой» в отношении динамики решетки алмаза. В результате алмаз может служить «идеальной» теплоотводящей диэлектрической подложкой. Более того, в очищенном от изотопов алмазе теплопроводность может достигать 33 Вт/смК.

Современные технологии дают возможность выращивать алмазные пленки и монокристаллы алмаза. В свою очередь алмазные пленки бывают поликристаллическими и нанокристаллическими, которые обладают разными свойствами.

Благодаря уникально высокой теплопроводности миниатюрные теплоотводящие подложки из природных и технических монокристаллов алмаза (диаметром $<2,5$ мм) еще в 60-х годах прошлого столетия нашли применение в полупроводниковых диодах, позволяя повысить их мощность и надежность.

На полиалмазе можно реализовывать конструкции теплоотводов в виде пленок и пластин практически любого масштаба. Еще в 1992 году был рассмотрен вариант трехмерного монолитного мультичипового модуля размером 10x10x10 см с многоуровневым расположением пластин из CVD-алмаза размером 10x10 см. Такое расположение алмазных пластин позволяет существенно увеличить частоту интегральных схем за счет укорочения длины межсоединений. Благодаря сверхвысокой теплопроводности подложки отводить тепло можно через торцы модуля. И согласно оценкам при полной выделяемой мощности модуля 20 кВт такой «куб» нагревается всего лишь на 31°С, в то время, как в случае применения нитрида алюминия нагрев составил бы 360°С. Модули с таким плотным монтажом перспективны для создания сверхкомпактных суперкомпьютеров.

Теплопроводность полиалмаза имеет свои особенности, обусловленные микроструктурой кристаллитов. Анизотропия теплопроводности может достигать 50 %. Кроме того, следует учитывать неоднородность поликристаллического CVD-алмаза в тепловом отношении по толщине. Путем сошлифовки дефектного слоя пленки толщиной 20–30 мкм можно примерно в два раза увеличить теплопроводность подложечной стороны. Максимальные значения теплопроводности CVD-полиалмаза близки к известным значениям этого параметра лучших природных монокристаллов.

Альтернативой дорогостоящим толстым пластинам полиалмаза в ряде случаев могут стать более тонкие (десятки микрометров) алмазные слои, нанесенные на стандартные диэлектрические подложки, например, на AlN-керамику [1]. Это приводит к значительному, в три-пять раз, увеличению теплопроводности наиболее ответственного наружного слоя теплоотвода. На рис. 1 представлена конструкция алмазного теплоотвода.

Основным несущим слоем алмазного теплоотвода служит медный хладопровод (Cu), адгезионными слоями которого являются карбид титана (TiC) или титан (Ti). Диэлектрическим слоем служит алмазоподобная пленка (АПП), а токопроводящим слоем является никель (Ni) или монель (NiCu – 18 %). Использование алмазных подложек в качестве изолирующего теплоотвода позволит поднять мощностные характеристики полупроводниковых приборов за счет уменьшения теплового сопротивления и увеличения предельного тока и рассеиваемой мощности в 1,5-2,0 раза.

Несмотря на столь очевидные достоинства, применение алмаза в электронике до последнего времени сдерживалось отсутствием надежного источника материала требуемого качества. Размеры природных кристаллов алмаза невелики (как правило, несколько миллиметров, камни размером более 10 мм редки и крайне дороги). Но главное, кристаллы алмаза содержат неконтролируемые дефекты и примеси, что приводит к

огромному разбросу их параметров. Размеры синтетических кристаллов, получаемых при высоких давлениях и температурах ($P = 5$ ГПа, $T = 1600\text{K}$) в присутствии катализаторов (процесс, открытый еще в 50-е годы 20 века), также малы. В них велика неконтролируемая концентрация примеси азота – 10^{17} – 10^{19} см⁻³. Кроме того, в таких алмазах присутствуют и примеси катализаторов. Новые перспективы применения алмаза появились в результате разработки технологии его синтеза при низких давлениях.

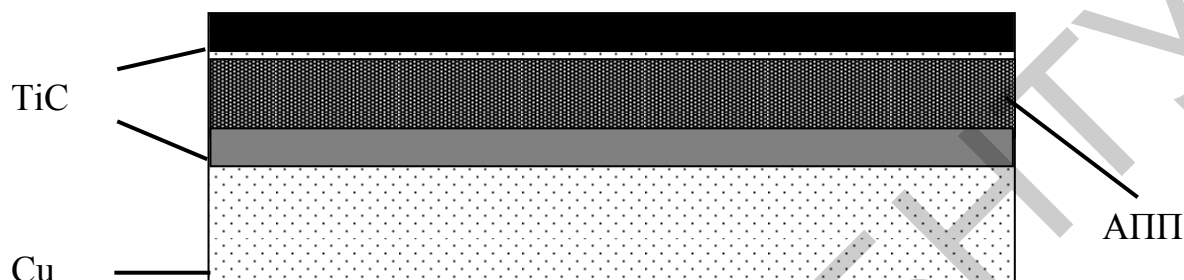


Рисунок 1. Конструкция алмазного теплоотвода

Исходя из сказанного выше, можно сделать выводы:

1. Применению алмазов в производстве теплоотводов принадлежит будущее.
2. Серьезной проблемой, ограничивающей применение алмазов в создании теплоотводов, является производство алмазов, однородных по структуре и по составу.
3. Следует иметь программу научных исследований, научных исследовательских работ, направленную на разработку технологий и оборудования для производства алмазов с нужными характеристиками.

Литература

1. В. Ланин, Е. Телеш. Алмазные теплоотводы для изделий электроники повышенной мощности/ Силовая электроника.- №3, 2008, стр. 120-124.
2. Ральченко В. CVD-алмазы. Применение в электронике / В. Ральченко, В. Конов // Электроника: Наука, Технология. Бизнес. 2007. № 4. С.58.
3. Моряков О.С. Алмазные теплоотводы в конструкции полупроводниковых приборов. Обзоры по электронной технике. Сер. Полупроводниковые приборы – М., 1982, вып.1.