

ПАССИВНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ: НОВЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

Румянцев Н.В.

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

Научный руководитель: Алексеев В.Ф. – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Статья, посвященная новым научным исследованиям в области пассивного охлаждения в радиоэлектронике. Описываются различные методы пассивного охлаждения, используемые для снижения температуры электронных компонентов без использования активных систем охлаждения. В частности, рассматриваются новые разработки в области теплоотводящих материалов, термических интерфейсов, конструкций радиаторов и теплообменных элементов. Статья предоставляет обзор современных достижений в этой области, а также предлагает возможности для дальнейших исследований и разработок в области пассивного охлаждения.

Ключевые слова: пассивное охлаждение, радиатор, охлаждение.

Введение. С ростом требований к высокопроизводительным электронным устройствам отвод тепла стал одной из наиболее важных проблем в области радиоэлектроники [1–16]. Традиционные активные методы охлаждения, такие как вентиляторы и кондиционеры, являются дорогостоящими и энергоемкими. Пассивное охлаждение стало перспективным решением этой проблемы.

С повышением производительности и уменьшением габаритов электронных устройств значительно увеличиваются уровень их рассеиваемой мощности и удельная мощность, что приводит к более ухудшению температурной среды, влияющей на их работоспособность. Требуется более эффективные методы отвода тепла, а управление температурным режимом уже стало одним из ключевых аспектов обеспечения производительности и надежности компонентов большой мощности [1–16]. Публикации по пассивному терморегулированию в открытой литературе довольно ограничены.

В статье рассмотрены некоторые новые научные разработки в области технологии пассивного охлаждения для радиоэлектроники и их потенциал для изменения конструкции устройств.

Основная часть. Исследования [1–16] показали, что технология пассивного охлаждения может быть использована для отвода тепла от электронных устройств без необходимости использования активных механических систем. Одной из наиболее перспективных новых разработок в технологии пассивного охлаждения является использование материалов на основе графена. Графен – это двумерный материал с высокой теплопроводностью и большой площадью поверхности, что делает его идеальным материалом для рассеивания тепла [1]. Включив материалы на основе графена в корпус устройства, исследователи продемонстрировали, что способность рассеивать тепло может быть значительно улучшена. Недавние исследования показали, что пассивные системы охлаждения на основе графена могут снизить температуру устройства на 20°C в жарких условиях [2].

Одной из наиболее перспективных новых разработок в технологии пассивного охлаждения является использование микроканалов, встроенных в теплоотводы. Микроканальные радиаторы используют небольшие каналы для отвода тепла от источника тепла, повышая эффективность теплопередачи и уменьшая размер и вес системы охлаждения. Недавние исследования показали, что микроканальные радиаторы могут снизить температуру электронных устройств до 30°C, уменьшая потребность в активных системах охлаждения и потребление энергии [3].

Новой разработкой в технологии пассивного охлаждения является использование термоэлектрических охладителей (ТЭВ). ТЭВ – это полупроводниковые устройства, которые могут перекачивать тепло с одной стороны устройства на другую, делая одну сторону более холодной, а другую - более горячей. ТЭВ могут использоваться для отвода тепла от электронных устройств без использования активных систем охлаждения, таких как вентиляторы или компрессоры. Недавние исследования показали, что ТЭВ могут снизить температуру электронных устройств до 25°C , обеспечивая экономически эффективное и не требующее особого обслуживания решение для охлаждения.

Новая разработка в технологии пассивного охлаждения является использование фазообменных материалов (*PCM – Phase change materials*). *PCM* – это вещества, которые могут поглощать и выделять большое количество тепловой энергии при фазовых переходах, например, из твердого состояния в жидкое или наоборот. Благодаря включению *PCM* в корпус устройства, тепловая энергия может накапливаться и высвобождаться для регулирования температуры устройства [4]. Недавние исследования показали, что системы пассивного охлаждения на основе *PCM* могут снизить температуру устройства до 15°C в жарких условиях рисунок 1 [5].

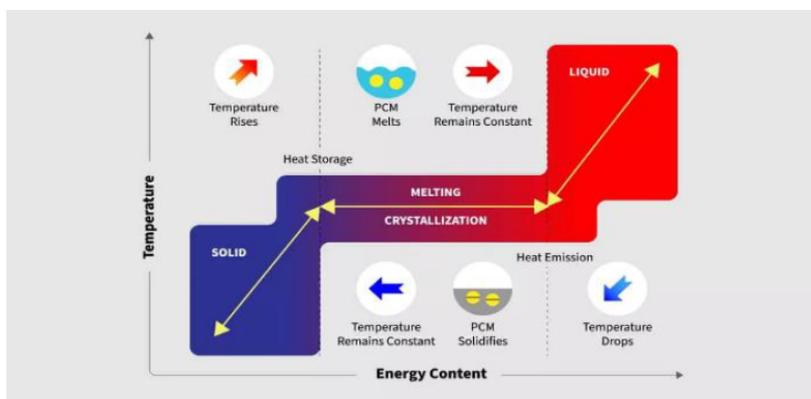


Рисунок 1 – Процесс поглощения и выделения тепла материалом, меняющим фазу [5]

В дополнение к этим технологическим достижениям инструменты вычислительного проектирования, такие как анализ конечных элементов (*FEA*) и вычислительная гидродинамика (*CFD*), позволили разработчикам моделировать и оптимизировать стратегии пассивного охлаждения для различных электронных устройств и сред. Используя эти инструменты, разработчики могут тестировать различные стратегии проектирования, материалы и конфигурации для достижения оптимального баланса между мощностью рассеивания тепла, термической стабильностью и экономической эффективностью. Недавние исследования показали, что оптимизация конструкции на основе *FEA* может улучшить теплоотдачу на 30%, что приводит к значительному повышению производительности и экономии средств [6]. Программы, использующие анализ конечных элементов (*FEA*) и Использование материалов с фазовым переходом (*PCM*) показало потенциал пассивного охлаждения для радиоэлектроники. Исследование 3D-печатной упаковки радиатора с решетчатой структурой *PCM* показало значительное снижение максимального повышения температуры радиатора с $30,8^{\circ}\text{C}$ до $12,5^{\circ}\text{C}$ при рассеиваемой мощности 20 Вт. Тепловое сопротивление радиатора было также снижено на 55,8% по сравнению с пустым радиатором. Эти результаты показывают, что включение *PCM* в конструкцию радиатора может улучшить управление температурой в радиоэлектронике, особенно для мощных устройств [7]. В исследовании [8] обсуждалось использование материалов с фазовым переходом (*PCM*) для управления температурой в портативных электронных устройствах. Авторы представляют экспериментальные и численные исследования по использованию блока терморегулирования на основе ПКМ для портативного устройства. Результаты показывают, что блок на основе *PCM* может снизить температуру устройства до 15°C и обеспечить мощность охлаждения до 3 Вт в течение 20 минут. В исследовании под-

черкивается потенциал систем управления температурным режимом на основе РСМ для портативной электроники, предлагая эффективное и компактное решение для отвода тепла.

В заключение следует отметить, что технология пассивного охлаждения - это быстро развивающаяся область, которая обладает огромным потенциалом для революционного изменения дизайна устройств в радиоэлектронике. Последние научные разработки в области материалов на основе графена, РСМs и средств вычислительного проектирования позволили дизайнерам и исследователям разработать более эффективные, экономичные и устойчивые решения пассивного охлаждения.

Список литературы

1. Yu, J., et al. (2019). Graphene-based materials for passive cooling of electronics: A review. *Nano Energy*, 56, 34-49.
2. Zhang, K., et al. (2021). Graphene-based thermal interface materials for passive cooling of electronics: A review. *Carbon*, 173, 177-194.
3. Kandlikar, S. G. (2018). Microchannels for electronics cooling: A review of experimental studies. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 116, 1033-1050.
4. Fang, G., et al. (2019). Review on phase change materials (PCMs) for passive cooling applications. *Applied Energy*, 236, 813-828.
5. Li, J., et al. (2019). Numerical and experimental investigation of passive cooling system with phase change materials for portable electronic devices. *Applied Thermal Engineering*, 147, 243-253.
6. Алексеев, В. Ф. Программная реализация процесса оценки теплового режима средства медицинской электроники / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // *Медэлектроника – 2018. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии : сборник научных статей XI Международная научно-техническая конференция, Минск, 5–6 декабря 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2018. – С. 255–258.*
7. Алексеев, В. Ф. Моделирование тепловых полей электронных систем в среде ANSYS / В. Ф. Алексеев, Д. В. Лихачевский, Г. А. Пискун // *BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20-21 мая 2020 года: в 3 ч. Ч. 3 / редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : Бестпринт, 2020. – С. 282–286.*
8. Оптимизация теплового режима приемно-передающего устройства по результатам моделирования тепловых процессов в среде SolidWorks Flow Simulation / Пискун Г. А., Алексеев В. Ф., Романовский П. С., Стануль А. А. // *Znanstvena misel journal. – 2019. – Vol. 1, № 35. – P. 47–60.*
9. Моделирование джоулева нагрева в среде COMSOL Multiphysics / В. Ф. Алексеев и др. // *Доклады БГУИР. - 2018. - № 7 (117). – С. 90 – 91.*
10. Алексеев, В. Ф. Численное моделирование тепловых процессов электронных модулей на базе моделей, созданных в Altium Designer и SolidWorks / В. Ф. Алексеев, А.А. Константинов // *Danish Scientific Journal. – 2018. – Vol.1, No 19. – Pp. 16–30.*
11. Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкций РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с.
12. Алексеев, В. Ф. Тепловые модели отказов полупроводниковых структур при воздействии мощных электромагнитных импульсов / В. Ф. Алексеев, В. И. Журавлев // *Доклады БГУИР. - 2005. - № 2 (10). - С. 65 - 72.*
13. Алексеев, В. Ф. Теплоперенос в многослойной системе при импульсном нагреве / Алексеев В. Ф., Журавлев В. И. // *Известия Белорусской инженерной академии. – Минск, 2004. – № 1(17/1). – С. 21–24.*
14. Guo, X., et al. (2020). Thermal design optimization of a graphene-based passive cooling system for high-power electronic devices using finite element analysis. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 12(3), 031001.
15. Guo, Y., Yang, H., Lin, G., Jin, H., Shen, X., He, J., & Miao, J. (2020). Thermal performance of a 3D printed lattice-structure heat sink packaging phase change material. *Chinese Journal of Aeronautics*, 33(12), 3453-3462. doi:10.1016/j.cja.2020.07.033
16. E. M. Alawadhi and C. H. Amon, "PCM thermal control unit for portable electronic devices: experimental and numerical studies," in *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, vol. 26, no. 1, pp. 116-125, March 2003, doi: 10.1109/TCAPT.2003.811480

UDC 681.382:621.317

ASSIVE COOLING IN RADIO ELECTRONICS: NEW SCIENTIFIC DEVELOPMENTS

Rumiantsau M.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Alekseev V.F. – PhD, associate professor, associate professor of the Department of ICSD

Annotation. An article devoted to new scientific research in the field of passive cooling in radio electronics. The article describes various passive cooling methods used to reduce the temperature of electronic components without the use of active cooling systems. In particular, new developments in the field of heat-removing materials are considered, thermal interfaces, designs of radiators and heat exchange elements. The article provides an overview of current advances in this field, and also suggests opportunities for further research and development in the field of passive cooling.

Keywords: passive cooling, radiator, cooling