

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ
МАШИНОСТРОЕНИЕ**

УДК 621.362

Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Магомедова П.А., Челушкина Т.А.

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОТВОД НА ОСНОВЕ
МНОГОКАСКАДНОГО ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА
С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИОДОВ ГАННА**

Ismailov T.A., Gadjiyev H.M., Magomedova P.A., Chelushkina T.A.

**ENERGYEFFICIENT HEAT DISSIPATION THROUGH
MULTISTAGE THERMOELECTRIC DEVICE USING GUNN DIODES**

Аннотация. В статье рассмотрена конструкция теплоотвода на основе многокаскадного термоэлектрического устройства, реализующая способ трансформации теплоты для отвода в окружающую среду с помощью излучения за счет использования диодов Ганна, что позволит увеличить и интенсифицировать процессы теплопередачи, а также энергоэффективность систем охлаждения.

Ключевые слова: теплоотвод, многокаскадное термоэлектрическое устройство, диоды Ганна, излучение.

Abstract. In article the construction of the heat sink on the basis of the multistage thermoelectric device realizing a method of transformation of warmth for leadout in environment by means of radiation due to use of Gunn diodes that will allow to increase and intensify processes of a heat transfer, and also energy efficiency of cooling systems is considered.

Key words: heat sink, multistage thermoelectric device, Gunn diodes, radiation.

Введение. Одной из важнейших эксплуатационных характеристик современной микроэлектронной аппаратуры является соблюдение тепловых режимов в стационарных и нестационарных режимах работы. Повышение степени интеграции в сверхбольшой интегральной схеме приводит к тому, что даже при незначительной удельной мощности тепловыделений отдельных полупроводниковых компонентов общее количество выделяемой теплоты может привести к необратимому катастрофическому тепловому пробую.

Традиционные системы для охлаждения микроэлектронной аппаратуры базируются на кондукции, конвекции и переносе энергии в виде электромагнитного излучения в окружающую среду. У каждого из этих способов теплопереноса имеются свои достоинства и недостатки.

Кондуктивный теплоперенос позволяет отводить значительные количества тепловой энергии за счет контактной передачи тепла между атомами. Чем выше

теплопроводность и больше перепад температур, тем выше эффективность процесса теплопереноса. Однако при кондукции основным недостатком является инерционность тепловых процессов, которая может привести к тому, что в зоне паразитных тепловыделений температура может резко возрасти при нестационарных процессах и динамической нагрузке, а система охлаждения не успеет кондуктивно отвести избыток тепла в окружающую среду. Возникший перегрев приведет к тому, что избыток тепловой энергии резко увеличит количество генерируемых носителей в полупроводнике, а это, в свою очередь, приведет к неуправляемому росту величины протекающего электрического тока, в результате чего наступит необратимый процесс разрушения полупроводниковой структуры.

Для конвективного теплопереноса необходимы системы с механическим перемещением жидкого хладагента. Чем больше теплоемкость хладагента, выше скорость его движения и больше перепад температур, тем эффективнее процесс отвода тепла от нагретых зон в окружающую среду. Несмотря на то, что конвективный теплоперенос имеет максимальные характеристики по сравнению с другими способами охлаждения, основным недостатком является громоздкость всей системы в целом и низкая энергоэффективность.

Наибольшим быстродействием обладает способ отвода тепла в виде электромагнитного излучения. В этом случае энергия отводится в окружающую среду со скоростью света. Однако для получения приемлемых величин энергетических потоков необходимо очень сильно нагреть полупроводниковый прибор до температур, при которых он не сможет функционировать и будет разрушен. А излучение в диапазоне допустимых рабочих температур имеет практически незначительную величину и не может внести существенный вклад в процесс охлаждения.

Постановка задачи. Для устранения приведенных недостатков целесообразно внести конструктивные изменения как в сам теплоотвод, так и в способ трансформации теплоты для отвода в окружающую среду. Для повышения эффективности теплоотвода целесообразно изготовить его в виде многокаскадного термоэлектрического устройства, способного использовать эффект Пельтье для отвода тепла от нагретых компонентов микроэлектронной аппаратуры.

Традиционный теплоотвод в виде пластинчатого или игольчатого металлического радиатора позволяет от нагретого микроэлектронного компонента кондуктивно передать тепловую энергию на металлические пластины и далее в окружающую среду за счет кондукции, конвекции и излучения. Однако в зоне присоединения теплоотвода к микроэлектронному изделию при такой конструкции будет создаваться самая высокая температура, которая будет постепенно понижаться, практически до температуры окружающей среды на краях пластин металлического радиатора. Такой подход не позволяет получить большой перепад температур между пластинами и окружающей средой, вследствие чего, процессы кондукции, конвекции и излучения будут недостаточно энергоэффективны. Кроме того, охлаждаемый микроэлектронный компонент будет работать в районе максимальной тепловой границы, что снижает надежность в

процессе эксплуатации. Также недостатком являются значительные весогабаритные характеристики такого металлического радиатора.

Изготовление теплоотвода в виде многокаскадного термоэлектрического устройства позволит уменьшить габариты в два раза при одновременном возрастании количества отводимой тепловой энергии за счет перекачки энергии тепловым насосом от микроэлектронного устройства к краям теплоотвода.

Такой способ переноса тепла обладает несколькими преимуществами:

- во-первых, термоэлектрический тепловой насос позволяет организовать перекачку большего количества теплоты, интенсифицируя процесс кондуктивного переноса тепла в обычном металлическом радиаторе;
- во-вторых, габариты могут быть уменьшены за счет того, что края металлических пластин будут иметь значительно более высокую температуру по сравнению с температурой окружающей среды, что также интенсифицирует кондуктивный, конвективный и излучающий способы переноса тепла в окружающую среду, причем за счет каскадирования можно достичь значительно более высоких температур, что повысит эффективность всех теплообменных процессов;
- в-третьих, в месте контакта теплоотвода с микроэлектронным устройством, термоэлектрический тепловой насос будет создавать самую низкую температуру, тем самым имеется возможность не только для предотвращения теплового пробоя, но и обеспечения эффективного термостатирования.

Таким образом, многокаскадный термоэлектрический теплоотвод способен обеспечить надежное функционирование микроэлектронной аппаратуры в стационарных и нестационарных режимах работы в условиях динамической нагрузки [1].

Методы исследования. Дальнейшее совершенствование теплоотвода целесообразно проводить в направлении повышения доли отвода тепла за счет излучения, причем излучение будет создаваться не за счет теплового нагрева атомов полупроводника, а за счет других эффектов, которые при генерации электромагнитного излучения не создают высоких температур. За основу можно взять полупроводниковый прибор – диод Ганна.

Генерация частот возможна в диапазоне до 100 ГГц, причем нет необходимости в применении р-п-перехода, достаточно использовать полупроводниковый материал с нелинейными характеристиками. Если изготовить каскадный термоэлектрический теплоотвод из полупроводниковых материалов со специальными нелинейными характеристиками, то помимо обычного эффекта Пельтье возникнет еще и излучение в структурах, эквивалентных диоду Ганна и, такой теплоотвод будет отводить дополнительную энергию в окружающую среду в виде электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона.

Применение диодов Ганна в качестве систем охлаждения позволит изготовить более энергоэффективные системы охлаждения [2].

Расчет параметров энергоэффективного теплоотвода на основе многокаскадного термоэлектрического устройства с применением диодов Ганна можно провести по следующим соотношениям.

Обозначим температуры переходов - $T_0, T_1, \dots, T_i, \dots, T_n$, а количества теплоты проходящие через них соответственно - $Q_0, Q_1, \dots, Q_i, \dots, Q_n$. На горячих спаях i -го каскада Q_{1i} выделяется теплота, которая на холодных спаях $i+1$ каскада Q_{0i+1} , должна поглотиться:

$$Q_{1i} = Q_{0i+1} = Q_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Считается, что величины физических постоянных термоэлектрических устройств известны.

Параметры теплоотвода рассчитываются следующим образом:

$$\frac{Q_0}{S} = \frac{GT_0}{h} \frac{\frac{t}{\mu} - 1}{\left(\frac{t}{\mu}\right)^{\frac{1}{n}} - 1} \frac{t^{\frac{1}{n}} - 1}{t^{\frac{1}{n}} + 1} \left(M - t^{\frac{1}{n}} \right), \quad (2)$$

где

$$G = \frac{2M}{M-1} \frac{\sqrt{k'\rho'} + \sqrt{k''\rho''}}{\sqrt{k'\rho''} + \sqrt{k''\rho'}} \sqrt{k'k''}, \quad (3)$$

$$M = \sqrt{1 + \frac{\alpha^2}{\left(\sqrt{k'\rho'} + \sqrt{k''\rho''}\right)^2} \frac{T_0 + T_1}{2}}, \quad (4)$$

k', ρ', k'', ρ'' - величины удельной теплопроводности и сопротивления полупроводниковых ветвей термоэлемента соответственно; α - удельная термо-ЭДС; $t = T_n/T_0$; $\eta = Q_n/Q_0$; n - число каскадов теплоотвода.

Площадь основания теплоотвода S находится по формуле:

$$S = ms, \quad (5)$$

где m - количество термоэлементов в батарее; s - площадь одного термоэлемента.

Поперечное сечение каждой из ветвей пары:

$$s' = s \frac{\sqrt{k''\rho''}}{\sqrt{k'\rho''} + \sqrt{k''\rho'}}, \quad (6)$$

$$s'' = s \frac{\sqrt{k' \rho''}}{\sqrt{k' \rho''} + \sqrt{k'' \rho'}}. \quad (7)$$

Электрическое сопротивление отдельного термоэлемента i -го каскада

$$r_i = \frac{\rho' h_i}{a'} + \frac{\rho'' h_i}{a''}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (8)$$

а электрическое сопротивление i -го каскада

$$R_i = r_i m_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (9)$$

где m_i – количество термоэлементов в i -м каскаде.

Различные каскады термоэлектрических устройств в общем случае могут состоять из различного числа термоэлементов. Поэтому электрические сопротивления в соседних каскадах должны соответствовать:

$$\frac{r_i m_i}{r_1 m_1} = \left[\frac{T_n^2}{T_0^2 \left(1 + \frac{1}{K} \right)} \right]^{\frac{i-1}{n}}. \quad (10)$$

Величина напряжения, подаваемого на различные каскады:

$$U_i = \frac{\alpha T_0 M}{M-1} \left(1 - t^{-\frac{1}{n}} \right)^i t^{\frac{i}{n}}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Сила электрического тока, протекающего через них:

$$I_i = \frac{U_i}{R_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (12)$$

Холодильный коэффициент многокаскадного термоэлектрического устройства:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{\frac{1}{t^n M - 1}}{M - t^n} \right)^n - 1}. \quad (13)$$

Потребляемая мощность:

$$W = \frac{Q_0}{K}. \quad (14)$$

В режиме максимальной холодопроизводительности напряжение на элементах различных каскадов и протекающий ток определяются соответственно:

$$U_{i.M.X..} = \alpha T_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (15)$$

$$I_{i.M.X..} = \frac{U_{i.M.X..}}{R} = \frac{\alpha T_i}{R}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (16)$$

Для режима минимального тока напряжение на элементах различных каскадов и протекающий ток:

$$U_{i.M.T.} = \alpha (T_i \sqrt{\theta_i} + \Delta T_i), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (17)$$

$$I_{i.M.T.} = \frac{U_{i.M.T.}}{R} = \frac{\alpha (T_i \sqrt{\theta_i} + \Delta T_i)}{R}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (18)$$

где ΔT_i – перепад температуры между спаями; $\theta = \Delta T / \Delta T_{\max}$ - относительный перепад температур.

Доля энергии, отводимой в виде электромагнитного излучения, будет тем выше, чем выше частота излучения в соответствии с формулой:

$$E = h \cdot \nu \quad (19)$$

Результаты эксперимента и их обсуждение. На рисунке 1 представлена конструкция энергоэффективного теплоотвода на основе многокаскадного термоэлектрического устройства с применением диодов Ганна.

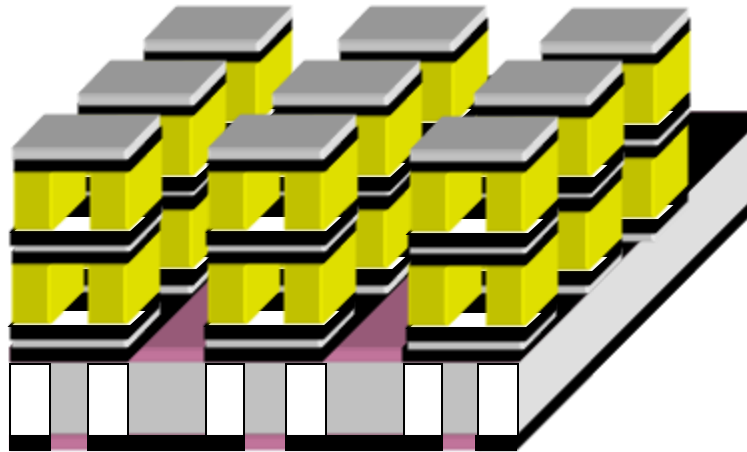


Рисунок 1 - Конструкция энергоэффективного теплоотвода на основе многокаскадного термоэлектрического устройства с применением диодов Ганна

На рисунке 2 представлена конструкция устройства для охлаждения компьютерного процессора с применением энергоэффективного теплоотвода на

основе многокаскадного термоэлектрического устройства с применением диодов Ганна.

Энергоэффективный теплоотвод на основе многокаскадного термоэлектрического устройства с применением диодов Ганна представляет собой набор термоэлектрических устройств, образующих основание 3 и полупроводниковые стержни 4, находящегося в корпусе компьютера 1. Напряжение поступает от источника питания 6.

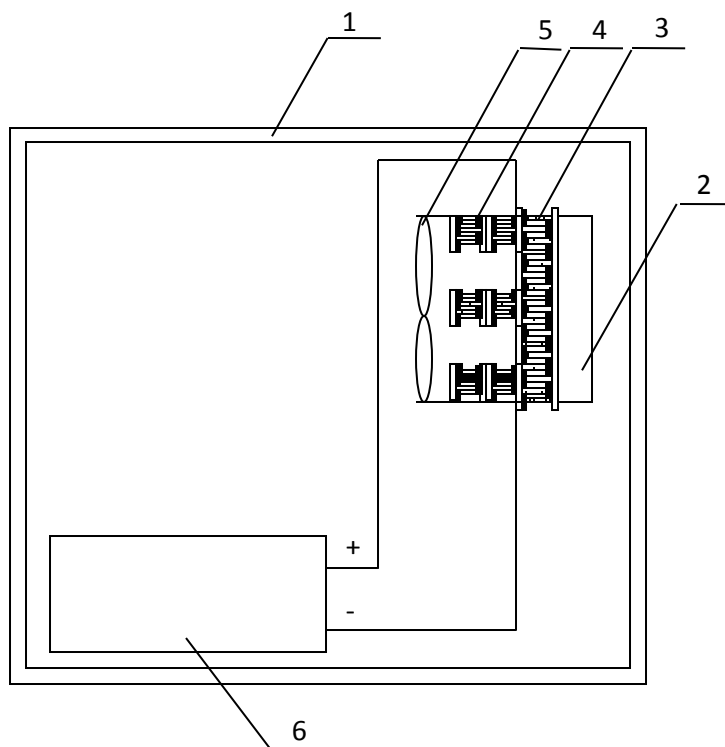


Рисунок 2 - Конструкция устройства для охлаждения компьютерного процессора с применением энергоэффективного теплоотвода на основе многокаскадного термоэлектрического устройства с применением диодов Ганна

Между термоэлектрическими устройствами, формирующими стержни радиатора, находится диэлектрическая пластинка. Охлаждающий спай термоэлектрического устройства, формирующий основание радиатора, находится в кондуктивном контакте с объектом охлаждения 2, а нагретые спаи в области основания отдельных полупроводниковых стержней. Охлаждающие спаи полупроводникового стержня находятся над нагретыми спаями нижнего термоэлектрического устройства. В результате на верхних концах стержней формируется высокая температура, которая обеспечивает более эффективную кондукцию и конвекцию, а также более высокое тепловое излучение, энергия которого прямо пропорциональна четвертой степени температуры на концах полупроводниковых стержней теплоотвода. Для интенсификации теплообменных процессов установлен кулер 5, обдувающий данный теплоотвод.

Вывод. Использование энергоэффективного теплоотвода на основе многокаскадного термоэлектрического устройства с применением диодов Ганна позволяет существенно увеличить и интенсифицировать процессы теплопередачи и энергоэффективность систем охлаждения.

Возможность повышения интенсивности теплопередачи путём использования излучения, кондукции и конвекции при высоких температурах позволит термостатировать режимы микроэлектронной аппаратуры с повышением надежности эксплуатационных характеристик.

Библиографический список:

1. Патент РФ №2288555. Термоэлектрический теплоотвод/Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Нежведилов Т.Д., Гафуров К.А.
2. Патент РФ №2558217 Способ отвода тепла от тепловыделяющих электронных компонентов в виде электромагнитной энергии на основе диодов Ганна/Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А.

References:

1. RF patent №2288555. Thermoelectric heat sink , Ismailov T. A., Gadzhiev M. Kh., Nevedrov T. D., Gafurov, A. K.
2. RF patent №2558217 Method of heat removal from heat-generating electronic components in the form of electromagnetic energy based on Gunn diodes , Ismailov T. A., Gadzhiev M. Kh., Nevedrov T. D., T. A. Chelushkina.

УДК 621.362

Евдулов Д.В., Сулин А.Б.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫПРЯМИТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ, ВЫПОЛНЕННОГО НА БАЗЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

Evdulov D.V., Sulin A.B.

MATHEMATICAL MODEL OF THE RECTIFIER OF THE ALTERNATING VOLTAGE EXECUTED ON THE BASIS OF THE THERMOELECTRIC TRANSFORMER OF ENERGY

Аннотация. В работе рассмотрена математическая модель выпрямителя переменного напряжения, построенного на базе термоэлектрического преобразователя энергии. Модель разбита на три основные части, включающие в себя расчет притока и оттока теплоты на спаи термоэлектрической структуры и расчет характеристик непосредственно термоэлектрического преобразователя. Получены графики зависимости, отражающие основные свойства термоэлектрического выпрямителя переменного напряжения.

Ключевые слова: выпрямитель переменного напряжения, термоэлектрический преобразователь, солнечный концентратор, воздушный теплоотвод, математическая модель.