

Разработка светоизлучающих полупроводниковых электронных компонентов для цифровой активной фазированной антенной решетки

Разработкой на протяжении нескольких лет занимается научная группа лаборатории инжинирингового центра Дагестанского государственного технического университета «Всероссийский центр микроспутниковых компетенций» во главе с кандидатом технических наук, доцентом Гаджиевым Хаджимуратом Магомедовичем. В составе группы кандидат физико-математических наук Гаджиева С.М., кандидат технических наук Челушкина Т.А., кандидат технических наук Нежведилов Т.Д., кандидат физико-математических наук Темиров А.Т., аспиранты и студенты.

Одной из основных тенденций развития современной электронной техники является микроминиатюризация полупроводниковых электронных компонентов интегральных схем. Главным препятствием на пути повышения степени интеграции является опасность температурных ударов за счет увеличения удельного тепловыделения. Применение систем охлаждения за счет громоздкости и инерционности контрпродуктивно. Это в полной мере касается и современных радаров типа цифровых активных фазированных антенных решеток.

Обобщая перечисленные недостатки современных электронных схем можно констатировать, что все электронные компоненты в большей или меньшей степени являются источниками тепловыделения, а все системы охлаждения, при локальном создании ограниченной зоны охлаждения, требуют гораздо большей зоны для отвода тепла в виде кондукции, конвекции или излучения. При создании новых электронных компонентов традиционно в качестве основных критериев рассматриваются быстродействие, габариты, энергопотребление и т.д. и, в последнюю очередь, по остаточному принципу – уровень тепловыделений активных и пассивных компонентов электронных схем.

Вместо того, чтобы констатировать заданный уровень тепловыделений и выбирать по факту параметры системы охлаждения, целесообразно проводить анализ теплофизических процессов в электронных компонентах, применяемых при изготовлении цифровых активных фазированных антенных решеток для принятия конструктивных и технологических решений с целью снижения уровня тепловыделений. Традиционные методы отвода тепла в виде кондукции, конвекции и излучения практически исчерпали себя при конструировании сверхбольших интегральных схем. В то же время современные электронные компоненты позволяют модифицировать отвод тепла для перспективных разработок цифровых активных фазированных антенных решеток. Отвод тепла в виде излучения подразумевает трансформацию теплового движения атомов при соударении в изменение энергетических уровней электронов в атоме в большую сторону, а при возвращении на исходную орбиту разница между энергетическими уровнями преобразуется в электромагнитное энергоизлучение.

Причем, чем выше температура, тем большую энергию приобретают атомы при соударении и тем выше энергия электромагнитных квантов и выше их частота.

Несмотря на то, что отвод тепла в виде излучения имеет ряд преимуществ (безынерционность, эффективность и т.д.), главным недостатком является необходимость повышения рабочих температур до диапазонов, при которых наступают тепловые пробой электронных компонентов. При меньших температурах отвод энергии незначителен. Поэтому отвод тепла в виде излучения редко используется в традиционных схемах охлаждения.

С появлением светодиодов возникла возможность модифицировать систему охлаждения для отвода тепла в виде излучения. В светодиодах излучение возникает не за счет нагрева кристаллической решетки, а за счет рекомбинации электронов и дырок и испускание излучения за счет разницы в энергии свободного электрона и электрона в составе атома после рекомбинации.

В этом случае тепло не выделяется. Наоборот, появляется возможность дополнить известный эффект Пельтье в термоэлектрических устройствах для получения эффективного охлаждения.

Излучающие термоэлектрические устройства имеют преимущества перед обычными термомодулями с горячими и холодными спаями в том, что можно получить более низкую температуру на холодном спае, так как уменьшается паразитный кондуктивный перенос со стороны горячего спая, который нагревается гораздо меньше за счет того, что часть энергии уходит в виде излучения, а не преобразуется в тепло на горячем спае. Дополнительным преимуществом является быстроедействие процесса отвода тепла в виде излучения. Энергия излучения прямо пропорционально зависит от частоты излучения. Поэтому, для повышения эффективности отвода тепла, целесообразно использовать такие материалы *p*-типа и *n*-типа полупроводниковых ветвей, которые применяются в светодиодах ультрафиолетового излучения. В качестве материалов для изготовления светотранзистора могут быть использованы любые материалы, традиционно используемые при изготовлении светодиодов а именно фосфид галлия (*GaP*), нитрид галлия (*GaN*), карбид кремния (*SiC*).

Для повышения экономичности излучающих термоэлектрических устройств целесообразно интегрально изготавливать на излучающих кристаллах прозрачные солнечные батареи для рекуперации энергии излучения в электричество. Кроме того, возможно изготовление прозрачных светодиодных матриц с двухсторонним расположением прозрачных солнечных элементов и зеркальными металлическими электродами по периметру. При приложении тока светодиодная матрица на одних переходах будет поглощать тепловую энергию, а на других электродах – испускать излучение, которое будет полностью рекуперировано в электроэнергию при помощи прозрачных солнечных батарей, после многократного отражения между зеркальными электродами. Невысокий КПД солнечных батарей будет

полностью скомпенсирован (до 100%) за счет многократного прохождения фотонов через эти батареи.

Полупроводниковые термоэлектрические устройства с использованием оптических явлений совместно с эффектом Пельтье позволяют реализовать энергоэффективные цифровые активные фазированные антенные решетки.



На протяжении ряда лет сотрудники научной группы занимаются исследованием методов передачи цифровой информации в больших объёмах. Опубликовано 15 статей, доклады на конференциях, участие в выставках, получен целый ряд патентов на изобретения. Некоторые результаты научно-исследовательской работы группы приведены ниже:

1. Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Челушкина Т.А. Оптические устройства в радиотехнике. Махачкала: ИПЦ ДГТУ, 2020. – 160 с.

2. Гаджиев Х.М., Нежведилов Т.Д. Светотранзистор с высоким быстродействием (диплом) XVI Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий «Архимед 2013» - золотая медаль.

3. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А. Светотранзистор (диплом) XVII Московский международный Салон изобретений и инновационных технологий «Архимед 2014» – золотая медаль.

4. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А. Светотранзистор (диплом) 4 международная выставка научно-технических и инновационных разработок «Измерение, мир, человек - 2014», Барнаул.

5. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А. LIGHT TRANSISTOR (диплом) Korea International Women's Invention Exposition - 2014, Seoul, Korea.

6. Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Крячко А.Ф., Магомедов С. М, Шкурко А.С. Антенна в форме уголкового отражателя сверхвысокочастотного диапазона с р-і-п-диодами для передачи дискретной информации. 2-6 февраля 2018 г., Банког, Тайланд. International Intellectual Property, Invention Innovation and Technology Exposition IPITEX 2018 in Thailand Inventors' Day 2018.

7. Патент на изобретение РФ № 2701047 «Резонатор сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний в виде диэлектрической трехгранной односторонней поверхности с металлическими обкладками»

8. Патент на изобретение РФ № 2693834 «Полупроводниковое устройство усиления потока фотонов с фоточувствительными и светоизлучающими р-п-переходами»

9. Патент на изобретение РФ № 2690693 «Фрактальные взаимосвязанные резонаторы сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний в виде диэлектрических трехгранных односторонних поверхностей с металлическими обкладками»

10. Патент на изобретение РФ № 2680850 «Способ формирования эллиптической диаграммы направленности цифровой активной фазированной антенной решетки на базе «стаи» микроспутников с применением сверхрегенеративных приемопередающих устройств».