

Для цитирования: Х.М. Гаджиев, Ш.Т. Исмаилова, П.А. Курбанова. Проектирование энергоэффективной быстродействующей компьютерной техники на основе экономичных светотранзисторов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47 (4): 20-26. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-20-26

For citation: H.M. Gadgiev, Sh.T. Ismailova, P.A. Kurbanova. Design of energy-efficient high-speed computer equipment based on cost-effective light transistors. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47 (4): 20-26. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-20-26

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

УДК 621.362

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-4-20-26

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ЭКОНОМИЧНЫХ СВЕТОТРАНЗИСТОРОВ

Х.М. Гаджиев, Ш.Т. Исмаилова, П.А. Курбанова

*Дагестанский государственный технический университет
367026, г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия*

Резюме. Цель. В статье рассматриваются вопросы формирования экономичных светотранзисторов для создания быстродействующих энергоэффективных компьютерных структур, способных с высоким быстродействием и точностью решать многочисленные задачи. Для этого используются полупроводниковые структуры различного типа, способные испускать и поглощать фотоны для приема и передачи цифровой информации. **Метод.** Применение зеркальных электродов позволяет осуществить многократное переотражение сгенерированных фотонов внутри светотранзистора для того, чтобы рекуперировать всю сгенерированную энергию в электричество. Это повышает энергоэффективность транзистора в целом и позволяет реализовать компьютерные устройства с высокой экономичностью, решающие различные задачи. **Результат.** Большая часть полезной энергии информационного сигнала будет переноситься от одного электрода к другому, причем перемещение будет иметь более высокую скорость за счет использования фотонов, а не дрейфующих электронов, а также это косвенно увеличит быстродействие светового транзистора во много раз на несколько порядков и позволит эффективно решить задачу реализации более мощных и быстродействующих транзисторов с большей экономической выгодой. **Вывод.** Доказаны перспективы для реализации быстродействующих энергоэффективных компьютерных структур на основе, как биполярных транзисторов, так и униполярных транзисторов, а также тиристорных, лазеров и других полупроводниковых компонентов в светоизлучающих структурах.

Ключевые слова: экономичный, светотранзистор, излучающий переход, поглощающий переход, компьютер

DESIGN OF ENERGY-EFFICIENT HIGH-SPEED COMPUTER EQUIPMENT BASED ON COST-EFFECTIVE LIGHT TRANSISTORS

H.M. Gadgiev, SH.T. Ismailova, P.A. Kurbanova

*Daghestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave., Makhachka 367026, Russia*

Abstract. Objective. The article deals with the formation of cost-effective light transistors for creating high-speed energy-efficient computer structures that can solve numerous problems with high speed and accuracy. For this purpose, various types of semiconductor structures are used that can emit and absorb photons for receiving and transmitting digital information. **Methods.** The use of mirror electrodes allows for repeated re-reflection of the generated photons inside the light transistor to

recover all the generated energy into electricity. This increases the energy efficiency of the transistor as a whole and allows implementing computer devices with high efficiency in solving various tasks.

Results. *Most of the useful energy of the information signal is transferred from one electrode to another, and the movement has a higher speed due to the use of photons, rather than drifting electrons, and this indirectly increases the speed of the light transistor by several orders of magnitude and effectively solves the problem of implementing more powerful and high-speed transistors with greater economic benefits.* **Conclusion.** *Prospects for the implementation of high-speed energy-efficient computer structures based on both bipolar transistors and unipolar transistors, as well as thyristors, lasers, and other semiconductor components in light-emitting structures have been developed.*

Keywords: *economical, light transistor, emitting junction, absorbing junction, computer*

Введение. Современный уровень развития компьютерной техники базируется на высокой степени интеграции электронных компонентов на полупроводниковых кристаллах. Основным ограничением является сложность изготовления большого количества электронных компонентов на малых площадях. Это связано с тем, что даже незначительное тепловыделение приводит к существенному перегреву в локальных зонах и способно привести к выходу из строя электронной схемы за счет теплового пробоя.

Постановка задачи. Для того чтобы устранить этот недостаток целесообразно использовать такие электронные компоненты, которые будут выделять меньше паразитного тепла. Паразитное тепло выделяется за счет двух факторов. Первым фактором являются Джоулевые тепловыделения. Они обусловлены протеканием электрического тока через резистивные структуры в виде полупроводниковых зон. Чем больше сопротивление оказывается протекающему току, тем больше выделяется паразитной тепловой энергии. В этом случае необходимо снижать уровень сопротивления таких полупроводниковых структур за счет уменьшения размеров, через которые протекает электрический ток.

Методы исследования. Применение полупроводниковых структур с высокими уровнями проводимости позволяет решить эту задачу с высокой эффективностью. Кроме того, изготовление транзистора в виде тонких пленок также позволяет осуществить снижение сопротивления полупроводниковых структур за счёт того, что поперечный размер полупроводниковой ветви будет значительно больше толщины этой полупроводниковой ветви, что обусловит малое электрическое сопротивление и низкий уровень тепловых выделений.

Дополнительным преимуществом такой структуры является экономия на электроэнергии. Помимо экономии электроэнергии на самом транзисторе, это позволяет осуществить экономию энергии и на последующем охлаждении транзистора в составе полупроводникового чипа компьютерной схемы.

Любой компьютерный процессор выделяет большое количество паразитного тепла. Это требует осуществить его охлаждение, на которое также расходуется энергия и средства [1-6]. Кроме того, тепловые пробой также имеют финансовые потери.

Снижение быстродействия за счет увеличения тепловых потерь также приводит к финансовым потерям. Таким образом, решая задачу по уменьшению тепловых потерь, мы решаем одновременно задачу по повышению экономии расходов при работе компьютерной техники [10-15].

Помимо Джоулевых тепловыделений имеются также термоэлектрические паразитные тепловыделения. Они обусловлены изменением энергии при прохождении зарядов из одной полупроводниковой зоны в другую. При рекомбинации электрона, который имел большую энергию, избыток энергии выделяется в виде тепла и осуществляет паразитный разогрев электронного компонента схемы. Если же энергия электронов при рекомбинации была маленькой, то происходит охлаждение такого участка полупроводникового компонента.

Сочетание нагрева и охлаждения реализует обычное термоэлектрическое устройство для охлаждения или нагрева. КПД таких устройств не очень высок, поэтому нагрев бывает, как правило, больше, чем охлаждение в несколько раз. В результате при протекании тока через по-

лупроводниковый биполярный транзистор один переход будет термоэлектрически разогреваться, а второй электрод будет термоэлектрически охлаждаться в соответствии с эффектом Пельтье.

Если рассмотреть эти эффекты совместно, то можно сделать вывод, что увеличение тепловых потерь при протекании тока связано также с термоэлектрическим дополнительным выделением тепла.

Если уровень энергии электрона при рекомбинации выше определенного значения, то вместо разогрева атома кристаллической решетки, электронный компонент будет испускать фотоны в диапазоне от инфракрасного света до ультрафиолетового в зависимости от уровня энергии. Чем выше уровень энергии рекомбинированного электрона, тем более высокую частоту будет иметь испускаемый фотон. Эта энергия будет уноситься из полупроводника со скоростью света и позволит сохранить его от теплового перегрева. При этом второй переход транзистора будет у нас поглощать эти фотоны, рекомбинируя их в электричество.

Сочетание испускания фотонов и поглощения их позволяет реализовать экономичный световой транзистор [7,8]. В таком транзисторе один переход испускает фотоны под действием информационного импульса, а второй поглощает часть фотонов. Та часть фотонов, которая не была поглощена, перемещается до столкновения с зеркальными металлическими электродами и переотражается обратно. Если изготовить полупроводник по светодиодной технологии из арсенидгаллия и других похожих материалов, то он имеет прозрачную структуру, не препятствующую перемещению фотонов [17-20].

Таким образом, фотоны будут до тех пор переотражаться между зеркальными металлическими электродами базы, коллектором и эмиттером пока не будут полностью поглощены поглощающим переходом.

На рис.1 приведена структура экономичного светового транзистора *n-p-n*-структуры [16].

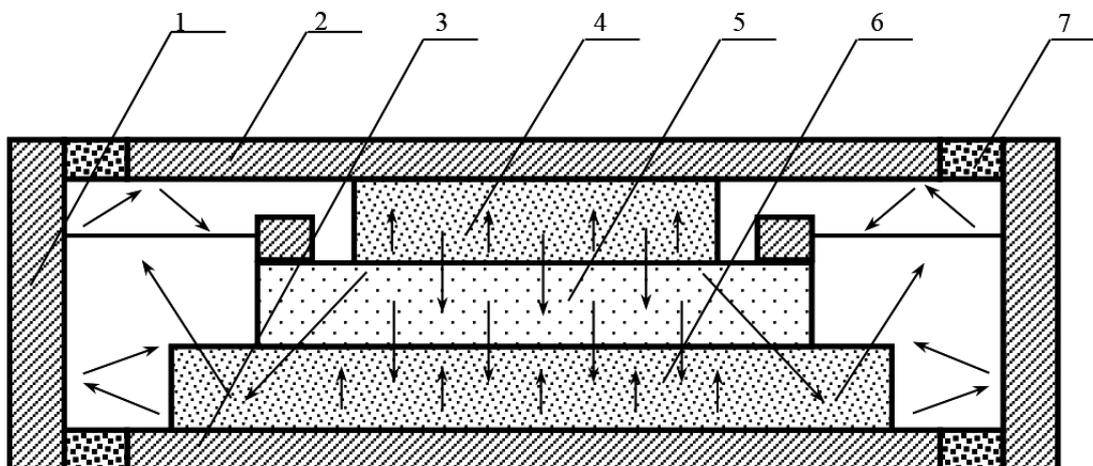


Рис.1. Экономичный световой транзистор *n-p-n*-структуры
Fig. 1. Economical light transistor *n-p-n*-structure

Конструктивно экономичный световой транзистор заключен внутри зеркальных металлических электродов: база 1, эмиттер 2, коллектор 3.

Светоизлучающим переходом в биполярном транзисторе является тот переход, на котором электроны переходят из *n* зоны 4 в *p* зону 5, в результате чего вместо тепловых потерь энергия рассеивается в виде оптического излучения. Фотопреобразующим является переход, на котором электроны переходят из *p* зоны 5 в *n* зону 6, приобретая извне дополнительную энергию от излучения, как в обычной солнечной батарее. База 1, эмиттер 2, коллектор 3 электрически изолированы друг от друга диэлектрическим материалом 7.

Обсуждение результатов. Экономичный световой транзистор, сохраняя достоинства способа охлаждения светодиодов [5], светотранзисторов [7] и высокое быстродействие свето-

транзистора [9], приобретает высокую экономичность за счет генерации электричества из фотонов на фотопреобразующем *n-p*-переходе при помощи зеркальных металлических электродов.

При прохождении электронов через один переход информационный импульс частично преобразуется вместо паразитного тепла в световые фотоны. Эти фотоны достигают поглощающего перехода и рекомбинируют опять в электрическую энергию. Часть фотонов достигает металлических электродов и переотражается обратно. После многократного переотражения рано или поздно эти фотоны рекомбинируют на поглощающем электроде в информационный сигнал.

Скорость, с которой перемещаются эти фотоны, максимальная на нашей вселенной, и практически мгновенно весь информационный цифровой импульс перейдет от одного перехода к другому. Реализация таких экономичных светотранзисторов в составе компьютерных устройств позволит создать с минимальными затратами новые электронные компоненты для решения многофункциональных задач.

Преимуществом таких устройств является не только их высокое быстродействие и экономичность, но и высокая надежность. Повышение надежности осуществляется за счет уменьшения тепловой нагрузки и исключения риска теплового пробоя. Затраты экономические на эксплуатацию таких изделий будут снижаться за счет того, что будет расходоваться меньше электроэнергии в процессе работы такого транзистора.

Вывод. Уменьшение паразитных тепловых выделений в таком экономичном световом транзисторе позволит увеличить мощность полупроводниковых электронных компонентов за счет того, что большая часть полезной энергии информационного сигнала будет достигать от одного электрода к другому.

Перемещение будет иметь более высокую скорость при помощи фотонов, чем при помощи дрейфующих электронов. То есть, это косвенно увеличит быстродействие светового транзистора во много раз на несколько порядков и позволит также решить задачу реализации более мощных и быстродействующих транзисторов с большей экономической выгодой. Такие транзисторы имеют ещё дополнительное преимущество за счет того, что не требуют дополнительного охлаждения.

Так как у них уровень паразитных тепловыделений меньше, они меньше нагреваются и не требуют воздушного охлаждения, жидкостного или термоэлектрического. Кондуктивно и конвекционно охлаждать такие транзисторы нет необходимости и даже излучение, которое испускают эти экономичные световые транзисторы, будет рекуперировано опять в полезную энергию. За счет того, что такой транзистор имеет меньшие тепловые выделения, имеется возможность для дальнейшего увеличения степени интеграции компьютерных процессоров, так как на единицу площади можно будет разместить большую функциональную схему.

Экономически это более выгодно, так как в тех же габаритах можно получить более мощную компьютерную структуру. Эксплуатация таких устройств также более выгодна за счет снижения финансовых затрат на систему охлаждения и защиты от перегрева.

Дополнительным преимуществом является возможность работы таких структур в режимах нестационарных, так как для них нет никакой разницы увеличения или уменьшения тепловой нагрузки. Широкая область применения для таких экономичных световых транзисторов - это космическое пространство, где невозможно осуществлять кондукцию и конвекцию при охлаждении, а возможно только излучение для переноса энергии от нагретых зон.

В экономичном световом транзисторе не требуется даже переносить излучение, так как всё излучение, произведенное этим транзистором, будет рекуперировано в полезную энергию. Для снижения экономических затрат при изготовлении таких световых транзисторов целесообразно использовать аддитивные технологии с применением различных порошков.

Наиболее целесообразным способом изготовления будет являться 3D принтер [15]. Экономичные световые транзисторы могут применяться не только в компьютерных технологиях,

но и в обычных дискретных структурах вплоть до СВЧ диапазона и выше для создания фотонных структур.

Библиографический список:

1. Патент РФ №2288555. Термоэлектрический теплоотвод / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Гафуров К.А., опубл. 27.11.2006.
2. Патент РФ №2335825. Термоэлектрическое устройство с высоким градиентом температур / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., опубл. 10.10.2008.
3. Патент РФ №2360380. Устройство для термостатирования компьютерного процессора / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д. // Б.И. № 18, 2009.
4. Патент РФ №2369894. Термоэлектрическое устройство термостабилизации компонентов вычислительных систем с высокими тепловыделениями / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д. // Б.И. № 28, 2009.
5. Патент РФ №2405230. Способ отвода тепла от тепловыделяющих электронных компонентов в виде излучения / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А. // Б.И. № 33, 2010.
6. Патент РФ №2449417. Способ охлаждения полупроводниковых тепловыделяющих электронных компонентов через биметаллические термоэлектрические электроды / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А. // Б.И. № 12, 2012.
7. Патент РФ №2487436. Светотранзистор / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А., опубл. 10.07.2013.
8. Патент РФ №2507613. Каскадное светоизлучающее термоэлектрическое устройство / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А. // Б.И. № 5, 2014.
9. Патент РФ №2507632. Светотранзистор с высоким быстродействием / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Нежведилов Т.Д., Юсуфов Ш.А. // Б.И. № 5, 2014.
10. Патент РФ № 2534954. Устройство для охлаждения компьютерного процессора с применением возгонки / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Нежведилов Т.Д. // Б.И. № 34, 2014.
11. Патент РФ № 2562742. Способ отвода тепла от тепловыделяющих электронных компонентов на основе применения полупроводниковых лазеров / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Нежведилов Т.Д., Челушкина Т.А. // Б.И. № 25, 2015.
12. Патент РФ № 2562744. Светотиристор / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Челушкин Д.А., Челушкина Т.А. // Б.И. № 25, 2015.
13. Патент РФ № 2575618. Термоэлектрическое устройство с тонкопленочными полупроводниковыми ветвями и увеличенной поверхностью теплоотвода / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. // Бюл. №5, 2016.
14. Патент РФ № 2593443. Светотранзистор с двумя излучающими переходами / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Челушкина Т.А., Челушкин Д.А. // Бюл. №22, 2016.
15. Патент РФ № 2702019. 3-D принтер для печати изделий, состоящих из различных по электрофизическим свойствам материалов / Каблов Е.Н., Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Челушкина Т.А., Шкурко А.С. // Б.И. № 10, 2019.
16. Патент РФ № 2 587 534. Экономичный световой транзистор / Исмаилов Т.А., Гаджиев Х.М., Гаджиева С.М., Челушкина Т.А., Магомедова П.А. // Дата подачи заявки: 2014.12.08. Опубликовано: 2016.06.20
17. Anatyshuk L.I. Physics of Thermoelectricity. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity . 1998.
18. Lyon J.R. Overview of Industry Interest in New Thermoelectric Materials // Thermoelectric Materials - New Directions and Approaches. MRS, 1997.
19. Tardiff David W., Dore-North Lyne. Thermal modeling speeds up design. Electron. Packag. and Prod. 1994, No.9.
20. Wartonowez T., Czarnecki A. Thermoelectric Cascade for Cryosurgical Destroyer // Proceedings of the 16th Int. Conf. jn Thermoelectrics, Dresden, Germany, 1997, p.705.

References:

1. Patent RF №2288555. Termoelektricheskiy teplootvod / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Gafurov K.A., publ. 27.11.2006. [RF patent №2288555. Thermoelectric heat removal / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Gafurov K.A., publ. November 27, 2006. (In Russ)]
2. Patent RF №2335825. Termoelektricheskoye ustroystvo s vysokim gradiyentom temperatur / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., publ. 10.10.2008. [RF patent No. 2335825. Thermoelectric device with a high temperature gradient / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., publ. 10.10.2008. (In Russ)]
3. Patent RF №2360380. Ustroystvo dlya termostatirovaniya komp'yuternogo protsessora / Ismailov T.A., Gadzhiev Kh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D. // B.I. № 18, 2009. [RF patent No. 2360380. A device for

- thermostating a computer processor / Ismailov T.A., GadzhievKh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D. // B. I. No. 18, 2009. (In Russ)]
4. Patent RF №2369894. Termoelektricheskoye ustroystvo termostabilizatsii komponentov vychislitel'nykh sistem s vysokimi teplovydeleniyami / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D. // B.I. № 28, 2009. [RF patent No. 2369894. Thermoelectric device for thermal stabilization of components of computer systems with high heat release / Ismailov T.A., GadzhievKh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D. // B.I. No. 28, 2009. (In Russ)]
 5. Patent RF №2405230. Sposob otvoda tepla ot teplovydelyayushchikh elektronnykh komponentov v vide izlucheniya / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. // B.I. № 33, 2010. [RF patent №2405230. Method of heat removal from heat-generating electronic components in the form of radiation / Ismailov T.A., GadzhievKh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. // B.I. No. 33, 2010. (In Russ)]
 6. Patent RF №2449417. Sposob okhlazhdeniya poluprovodnikovyykh teplovydelyayushchikh elektronnykh komponentov cherez bimetallicheskiye termoelektricheskiye elektrody / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. // B.I. № 12, 2012. [RF patent No. 2449417. Method of cooling semiconductor heat-generating electronic components through bimetallic thermoelectric electrodes / Ismailov T.A., GadzhievKh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov TD, Chelushkina T.A. // B.I. No. 12, 2012. (In Russ)]
 7. Patent RF №2487436. Svetotranzistor / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A., publ. 10.07.2013. [RF patent No. 2487436. Svetotransistor / Ismailov T.A., GadzhievKh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A., publ. 10.07.2013. (In Russ)]
 8. Patent RF №2507613. Kaskadnoye svetoizluchayushcheye termoelektricheskoye ustroystvo / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. // B.I. № 5, 2014. [RF patent No. 2507613. Cascade light-emitting thermoelectric device / Ismailov T.A., GadzhievKh.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. // B.I. No. 5, 2014. (In Russ)]
 9. Patent RF №2507632. Svetotranzistor s vysokim bystrodeystviyem / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Nezhvedilov T.D., Yusufov SH.A. // B.I. № 5, 2014. [RF patent No. 2507632. Light transistor with high speed / Ismailov T.A., GadzhievKh.M., Nezhvedilov T.D., YusufovSh.A. // B.I. No. 5, 2014. (In Russ)]
 10. Patent RF № 2534954. Ustroystvo dlya okhlazhdeniya komp'yuternogo protsessora s primeneniye vozgonki / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Nezhvedilov T.D. // B.I. № 34, 2014. [RF patent No. 2534954. A device for cooling a computer processor using sublimation / Ismailov TA, GadzhievKh.M., Gadzhieva SM, Nezhvedilov TD. // B.I. No. 34, 2014. (In Russ)]
 11. Patent RF № 2562742. Sposob otvoda tepla ot teplovydelyayushchikh elektronnykh komponentov na osnove primeneniya poluprovodnikovyykh lazerov / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Nezhvedilov T.D., Chelushkina T.A. // B.I. № 25, 2015. [RF patent № 2562742. Method of heat removal from heat-generating electronic components based on the use of semiconductor lasers / Ismailov TA, GadzhievKh.M., Nezhvedilov TD, Chelushkina TA // B.I. No. 25, 2015. (In Russ)]
 12. Patent RF № 2562744. Svetotiristor/Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Chelushkin D.A., Chelushkina T.A. // B.I. № 25, 2015. [RF patent No. 2562744. Light thyristor / Ismailov TA, GadzhievKh.M., Gadzhieva SM, Chelushkin DA, Chelushkina TA // B.I. No. 25, 2015 (In Russ)]
 13. Patent RF № 2575618. Termoelektricheskoye ustroystvo s tonkoplennymi poluprovodnikovymi vetvyami i uvelichennoy poverkhnost'yu teplootvoda / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. // Byul. №5, 2016. [RF patent No. 2575618. Thermoelectric device with thin-film semiconductor legs and increased heat sink surface / Ismailov TA, GadzhievKh.M., Chelushkina TA, Chelushkin DA // Bul. No. 5, 2016. (In Russ)]
 14. Patent RF № 2593443. Svetotranzistor s dvumya izluchayushchimi perekhodami / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Chelushkina T.A., Chelushkin D.A. // Byul. №22, 2016. [RF patent No. 2593443. Light transistor with two emitting transitions / Ismailov TA, GadzhievKh.M., Gadzhieva SM, Chelushkina TA, Chelushkin DA // Bul. No. 22, 2016. (In Russ)]
 15. Patent RF № 2702019. 3-D printer dlya pechati izdeliy, sostoyashchikh iz razlichnykh po elektrofizicheskim svoystvam materialov / Kablov Ye.N., Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Chelushkina T.A., Shkurko A.S. // B.I. № 10, 2019. [RF patent No. 2702019. 3-D printer for printing products, consisting of materials of various electro-physical properties / Kablov E.N., Ismailov T.A., GadzhievKh.M., Chelushkina T.A., Shkurko A. FROM. // B.I. No. 10, 2019. (In Russ)]
 16. Patent RF № 2 587 534. Ekonomichnyy svetovoy tranzistor / Ismailov T.A., Gadzhiev KH.M., Gadzhieva S.M., Chelushkina T.A., Magomedova P.A. // Data podachi zayavki: 2014.12.08. Opublikovano: 2016.06.20 [RF patent № 2 587 534. Economical light transistor / Ismailov TA, GadzhievKh.M., Gadzhieva SM, Chelushkina TA, Magomedova PA // Application date: 2014.12.08. Published: 2016.06.20 (In Russ)]
 17. Anatychuk L.I. Physics of Thermoelectricity. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity. 1998.
 18. Lyon J.R. Overview of Industry Interest in New Thermoelectric Materials // Thermoelectric Materials - New Directions and Approachis. MRS, 1997.

19. Tardiff David W., Dore-North Lyne. Thermal modeling speeds up design. - Electron. Packag. and Prod. 1994, no. 9.
20. Wartonowez T., Czarnecki A. Thermoelectric Cascade for Cryosurgical Destroyer // Proceedings of the 16th Int. Conf. jnThermoelectrics, Dresden, Germany, 1997, p.705.

Сведения об авторах:

Гаджиев Хаджимурат Магомедович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники; e-mail: gadjiev.xad@mail.ru

Исмаилова Шани Тагировна, доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой экономической теории; e-mail: shani717@mail.ru

Курбанова Патимат Арсланалиевна, аспирантка кафедры теоретической и общей электротехники, старший преподаватель кафедры теоретической и общей электротехники; e-mail: magomedova-pa@mail.ru

Information about the authors:

Khadzhimurat M. Gadjiev, Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Head of the Department of Radio engineering, telecommunications and microelectronics; e-mail: gadjiev.xad@mail.ru

Shani T. Ismailova, Dr. Sci.(Economics), Prof., Head of the Department of Economic theory; e-mail: shani717@mail.ru

Patimat A. Kurbanova, Post-graduate Student, Department of theoretical and General electrical engineering, Senior Lecturer, Department of theoretical and General electrical engineering; e-mail: magomedova-pa@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.10.2020.

Принята в печать 10.11.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 12.10.2020.

Accepted for publication 10.11.2020.