

Терагерцовая тепловольтаика на основе монокристаллов LPE i-GaAs (SiO) Часть 1

**Виктор Войтович (г. Тарту, Эстония), Александр Гордеев,
Анатолий Звонарёв (г. Ульяновск)**

В очередной публикации мы продолжаем раскрывать для научной и технологической общественности некоторые особенности предложенной теории мультizonной («зоны в зоне») проводимости в LPE i-GaAs (SiO) монокристаллах и новые яркие возможности создания уникального приборостроения на её основе.

В настоящей статье, состоящей из двух частей, мы не только предлагаем более современную и более эффективную в сравнении с современным мировым уровнем модель термоэлектрического генератора энергии (Thermoelectric Energy Generator, TEG) на тепловых волнах человеческого тела, но и делаем попытку теоретического обоснования создания «теплового насоса».

В Послании Федеральному собранию Президент РФ сообщил, что 1 декабря 2016 г. подписан указ «О стратегии научно-технического развития Российской Федерации». Суть Стратегии научно-технологического развития (НТР) – в определении целей и задач на федеральном уровне, исходя из определения «больших вызовов», стоящих перед экономикой РФ и национальной безопасностью. В Стратегии НТР сказано об исчерпании возможностей экономического роста России, основанного на экстенсивной эксплуатации сырьевых ресурсов, т.е., по существу, ставится заслон таким общепринятым заезженным штампам, как «благоприятный инновационный климат», «инновационные рельсы, лифты, сообщества» и т.д. и декларируется необходимость перехода к передовым цифровым, производственным технологиям, новым материалам и способам конструирования. Это подразумевает переход к новой фундаментальной науке, новой физике (на новых физических принципах), новым идеям, новым технологиям, новым продуктам с ярко выраженной национальной монополизацией на мировом рынке («твёрдая нефть»). В конечном счёте, в Стратегии просматривается мысль о неизбежном переходе на технократическую платформу развития экономики.

На текущий момент к числу «больших вызовов» следует отнести Программу импортозамещения, в частности, в электронике (Приказ Минпром-

торга № 662 от 31.03.2015 г.). Текущая Программа импортозамещения, как и предшествующая ей «Стратегия развития электронной промышленности на 2008–2025 гг.», не позволит российской национальной электронике войти в технологические ряды даже второразрядных стран, т.е. достичь хотя бы нанометрии в 22 нм.

Отсюда следует, что наиболее опасным из «больших вызовов» является вероятность обновления Программы копирования западных технологий в 2018 г. Фактически, «уже вчера» необходимо было сделать три ответственных шага:

- сконцентрировать всё, что имеется в электронной индустрии, в одних руках и понять, что частная собственность не доросла до уровня ответственности, необходимого для защиты интересов Государства;
 - поскольку технологическое оснащение отечественной электроники на фоне фирм Южной Кореи, США, Японии находится, по существу, «на феодальном уровне», требуются огромные ресурсы, чтобы привести их в соответствие с мировым уровнем;
 - создать федеральные целевые программы (ФЦП) развития отечественной электроники с целями и задачами, опережающими мировой уровень.
- Для реализации перечисленных задач потребуются финансовые средства (ежегодно) на уровне, как минимум, хотя бы 1% валового дохода углеводородной отрасли или на уровне

от 8% годового оборонного бюджета РФ. Структурные реформы в электронной индустрии неизбежно потребуют кадровой чистки и сертификации с учётом того, что электроника – это фундаментальная наука, которая имеет общие корни с физикой, и в новых обстоятельствах и новых условиях развития электронной отрасли аппарат «прошлого века» будет не пригоден для решения актуальных задач. Необходимы также законодательные реформы (инициативы) для обеспечений работоспособности указа Президента РФ «О стратегии научно-технического развития Российской Федерации».

Ранее мы представили свои предложения по реформированию законодательства в высокотехнологичной сфере Управлению Президента Российской Федерации по научно-образовательной политике. Считаем, что ответы, полученные из Минпромторга и Министерства экономического развития РФ, не отвечают ни требованиям времени, ни качеству наших предложений.

Для создания ФЦП опережающего развития требуется не только интеллектуальный потенциал, но и новые материалы. К счастью, в России есть предпосылки и огромный задел в этой области, в частности, по таким уникальным моно- и гетерокристаллам, как:

- LPE i-GaAs (SiO + лантаноид);
- гетеросистемы на основе дилатационной технологии Si/3C-SiC/4H-SiC с практически нулевой дефектностью эпитаксиальных слоёв (качество значительно выше, чем у компании Cree);
- «тринитридные», с дилатационной платформой, близкие к совершенству гетерослой SiC/AlN/GaN;
- дилатационные системы Si/Ge/GeC (GeC в природе не существует);
- широкозонный Ga₂O₃ (4,9 эВ) с рабочими температурами до +800°C (в 1,5 раза выше температуры на поверхности Венеры).

Упустить уникальную возможность развития новой отечественной электроники на основе перечисленных

материалов было бы в высшей степени неблагоприятно, тем более, в свете наших предложений о постепенном переходе от зонной полупроводниковой электроники к мультизонной («зоны в зоне») и релятивистской.

На примерах ярчайших личностей в новейшей истории России, как в политике, так и в науке, таких как А.Н. Косыгин, И.В. Курчатов, С.П. Королёв, А.И. Шокин, П.С. Пleshаков, М.В. Келдыш, А.П. Александров и многих других, нетрудно понять, что экономику страны, оборонную мощь, научные достижения самого высокого уровня создают талантливые личности, но никак не «инновационные массы». В связи с этим новую Программу развития отечественной электроники, нацеленную на опережение мирового уровня, должны создавать не чиновники, не «бригадиры» в микроэлектронике, которые фактически подвели отечественную электронную отрасль к катастрофе, а выдающиеся учёные: физики, талантливые разработчики, материаловеды мирового класса, генераторы интеллектуальной собственности – то есть цвет и лицо нации. Фактически,

это – коллективный разум, который динамично, на постоянной основе мог бы управлять развитием электроники в России от идеи, до создания конкретной площадки с авторским надзором, вплоть до реализации техперевооружения и реконструкции в режиме чрезвычайного положения.

В предыдущих публикациях [1, 2] показаны возможности резонансно-параметрического усиления и генерации в стратегически важном для оборонительных систем терагерцовом диапазоне с возможностью передачи (транспортировки) электромагнитной энергии в твёрдом теле – арсениде галлия и других материалах со скоростями, как минимум, на два порядка выше, чем позволяют отечественные технологии.

Сегодня для формирования новой ФЦП мы можем предложить новые функциональные возможности LPE i-GaAs (SiO) монокристалла в виде терагерцового преобразователя энергии для создания биосреды нового качества, а также для таких применений, как квантовая медицина, антитерроризм, МЧС, банковская сфера.

ТЕРАГЕРЦОВЫЙ ЭНЕРГОРАЗДЕЛ И СОПРЯЖЁННОСТЬ БИОСРЕДЫ И СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

Энергия солнечной радиации

Энергообмен между Солнцем и нашей планетой очень сложен и многогранен (гравитация, магнитно-полевое взаимодействие, радиация, корпускулярные энергии, акустическое взаимодействие, энергия планет, энергия дальнего космоса, энергия вакуума). В предлагаемой публикации рассматривается только один тип энергетического воздействия на нашу планету – солнечная радиация в виде квантов от ближнего ультрафиолета до среднего инфракрасного (ИК) излучения.

Многочисленные исследования, начиная от исследования фотосинтеза в биологии до создания современных солнечных батарей (фотовольтаика), показывают наличие очень узкой полосы пропускания электромагнитных волн солнечной радиации через атмосферу Земли: магнитосферу, ионосферу, стратосферу и тропосферу. До поверхности Земли доходят кванты солнечной радиации с длиной

www.jtagtechnologies.ru



Любое количество TAP-портов (JTAG-портов)
Любое количество цифровых I/O-каналов
Любое количество аналоговых I/O-каналов

Сконфигурируйте свою собственную систему периферийного сканирования без ограничений с новыми модульными контроллерами JT 57xx/RMI



Реклама

Представительство JTAG Technologies в России
Телефон: [812] 313-9159
E-mail: russia@jtag.com

Эксклюзивный дистрибьютор: 000 «Остек-Электро»
Телефон: [495] 788-4444
E-mail: info@ostec-group.ru

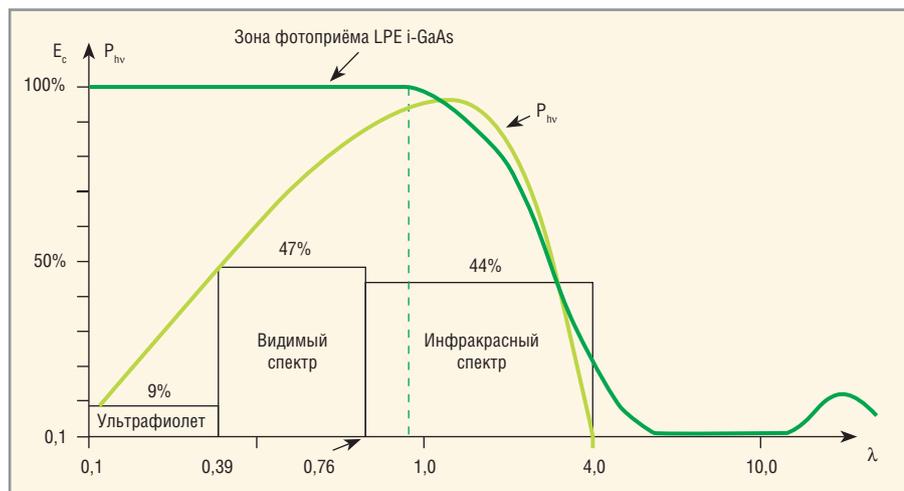


Рис. 1. Спектральная плотность солнечной радиации у поверхности земли, относительный флюенс квантового излучения и полоса фотоприёма p-i-n i-GaAs (SiO) структур

волны от 0,2 до 4,0 мкм с энергиями $E_{\text{ф}} = 5,68...0,28$ эВ и соответствующими частотами $7,5 \times 10^{13}...1,5 \times 10^{15}$ Гц. Фактически, достаточно узкая полоса солнечного излучения располагается вблизи диапазонного раздела частот электромагнитных волн между тера- и петагерцовыми диапазонами, граница которых находится около значения 3×10^{14} Гц ($\lambda = 1,0$ мкм).

Флюенс излучения солнечных квантов (фотонов) солнечной радиации или, по-другому, средняя плотность падающих на поверхность площадью в 1 см^2 оптических квантов за одну секунду времени в ясную погоду согласно источнику [3] составляет около $2 \times 10^{17} \text{ см}^{-2} \times \text{с}^{-1}$ (флюенс солнечной радиации, конечно, зависит от энергии кванта – $h\nu$). Суммируя данные из множества источников информации, можно с достаточно высокой точностью графически показать плотность энергетического спектра, флюенс солнечной радиации от ближнего ультрафиолета до короткого ИК-излучения, а также зону фотоприёма p-i-n-перехода на основе LPE i-GaAs, легированного амфотерным кремнием из кварцевого источника в восстановительной среде (см. рис. 1).

Электромагнитное излучение человека

Любое биологическое тело (человек, животные и др.) излучает тепловую энергию. Средняя температура тела человека колеблется в пределах $36...37^\circ\text{C}$. Ниже 31°C и выше 42°C происходят необратимые процессы в организме. На три четверти человек состоит из воды, и минимум энергии, затраченной на нагрев кубика воды на один

градус, приходится именно на диапазон температуры здорового человека ($\Delta t = 37^\circ\text{C} - 36^\circ\text{C} = 1^\circ\text{C}$). Но, оказывается, что эта энергия представляет собой терагерцовые энергетические колебания. Другими словами, тепловое излучение камня, человеческого тела, животного или печи в деревенском доме – это не что иное, как терагерцовые энергетические электромагнитные колебания.

Энергия тепла имеет единицы измерения. Согласно школьным учебникам, энергия тепла измеряется в калориях, килокалориях, джоулях, эргах. $1 \text{ Дж} = 0,239 \text{ кал} = 10^7 \text{ эрг/с}$. В физико-технических дисциплинах часто применяется другая мера энергии – электронвольт (эВ). $1 \text{ эВ} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж}$. В термодинамике энергия выражается в единицах kT , где k – постоянная Больцмана, а T – температура по Кельвину. Энергия в количестве одной kT единицы при $T = 300 \text{ К}$ равна $0,026 \text{ эВ}$. Кванту электромагнитного излучения с энергией $kT = 0,026 \text{ эВ}$ (300 К) соответствует частота $\nu \approx 6,3 \times 10^{12} \text{ Гц}$ ($6,3 \text{ ТГц}$) или длина волны $\lambda = 44,55 \text{ мкм}$.

Электромагнитному излучению человека посвящено огромное количество публикаций. Результаты отечественных исследований отражены в работах академика, д.т.н., профессора Ю.В. Гуляева и д.т.н., профессора Э.Э. Годика (ИРЭ РАН, Москва) [4, 5], где показан широчайший диапазон электромагнитного излучения человека от дальнего терагерцового диапазона (наибольшая интенсивность) до СВЧ дециметрового диапазона (среды излучения), а также показана связь собственного излучения человека с его биодинамикой.

Необходимо отметить, что основная часть, а точнее подавляющая часть,

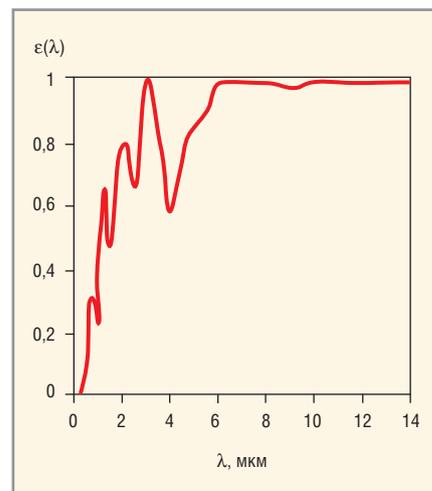


Рис. 2. Спектральный коэффициент излучения $\epsilon(\lambda)$ человеческой кожи

электромагнитного излучения человека находится в пределах длин волн от 4 до 50 мкм. Напомним, что это, фактически, – тепловые волны. Наибольшая интенсивность излучения человека $P_{\text{и}}$ приходится на следующие диапазоны длин волн:

- при $\lambda < 5,0 \text{ мкм}$ $P_{\text{и}} \sim 1,0\%$;
- при $\lambda = 5...9 \text{ мкм}$ $P_{\text{и}} \sim 20\%$;
- при $\lambda = 9...16 \text{ мкм}$ $P_{\text{и}} \sim 30\%$;

на более длинных волнах (дальний ИК, субмиллиметровый, миллиметровый, сантиметровой, дециметровый диапазоны, $3 \times 10^{12}...10^9 \text{ Гц}$) – всё остальное, т.е. около 40%.

Известным английским учёным Г.Х. Харди, иностранным членом-корреспондентом РАН (1924 г.) и иностранным почётным членом АН СССР (1934 г.), было продемонстрировано, что на длинах ИК-волн с $\lambda = 8...14 \text{ мкм}$ кожа человека ведёт себя «как абсолютно чёрное тело, независимо от возраста, степени пигментации и других особенностей. Поэтому коэффициент излучения кожи человека можно считать равным единице». Следовательно, такая «био-терагерцовая РЛС» на длинах волн $\lambda = 8...14 \text{ мкм}$ с пиком на $\lambda = 10 \text{ мкм}$ принимает и излучает в коридорах прозрачности атмосферы с $\lambda = 8...12 \text{ мкм}$ (см. рис. 2 и 3). Разработчики вооружений, работающие в областях ИК-самонаведения, ПЗРК и др., прекрасно знают этот прозрачный ИК-диапазон, когда можно «пробить» и туман, и пыль, и даже дождь или снег [6].

Сопряжённость энергии Солнца и биосреды

Спектр электромагнитных излучений Солнца и человека в целом перекрывается на коротких ИК-волнах

в диапазоне $\lambda = 1...4$ мкм. Но необходимо отметить, что мощность излучения в пограничной зоне с длиной волны около $\lambda = 4$ мкм с той и с другой стороны практически нулевая. Более жёсткое излучение Солнца находится в начальной области ультрафиолета, т.е. вблизи $\lambda = 0,2$ мкм. Природа сотворила атмосферу Земли так, чтобы не пропускать на поверхность энергию выше, чем $h\nu = 6$ эВ, что связано с «кипячением воды» электронами, когда в гетеросистеме вода – атмосфера начинается фотоэмиссия электронов из молекул воды (ионизация молекулы). Это крайне опасно для человеческого организма, состоящего на три четверти из воды. «Накачка» человеческого организма ИК-квантами, с длинами волн близкими к $\lambda = 10$ мкм, ведёт к необратимым последствиям, нарушая теплообмен со средой, и человек попросту погибнет. Полезно также знать, что огромная опасность для энергетики человека таится не только в дальнем терагерцовом диапазоне или петадиапазоне (ультрафиолет), но также и в СВЧ-диапазоне.

Относительная интенсивность солнечного и человеческого излучения показана на рисунке 3.

На рисунках 4 и 5 показана предположительная мощность излучения человеческого тела на фоне мощности солнечного излучения днём и ночью соответственно.

В следующей части статьи мы рассмотрим некоторые специфичные вопросы, связанные с электромагнитным излучением человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев А.И. Перспективные терагерцовые поляризованные информационные системы. Часть 1. Современная электроника. 2016. №6.
2. Гордеев А.И. Перспективные терагерцовые поляризованные информационные системы. Часть 2. Современная электроника. 2016. №7.
3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашиников С.Г. Физика полупроводников. М. Наука. 1977.
4. Гуляев Ю.В., Годик Э.Э. Физические поля биологических объектов. Вестник Академии наук СССР. 1983. №8.
5. Гуляев Ю.В., Годик Э.Э. Статья в книге «Кибернетика живого: биология и информатика». М. Наука. 1984. Стр. 111–116.
6. Госсорж Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. М. Мир. 1988.
7. Гроссе П. Свободные электроны в твёрдых телах. М. Мир. 1982.

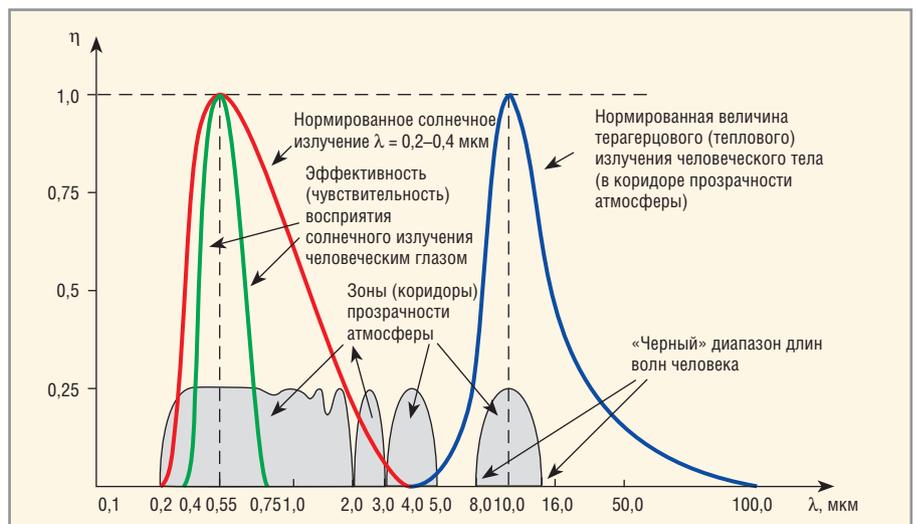


Рис. 3. Нормированные интенсивности мощности солнечного излучения (красный) и человеческого излучения (синий). Коридоры прозрачности атмосферы в видимом и ИК-диапазонах

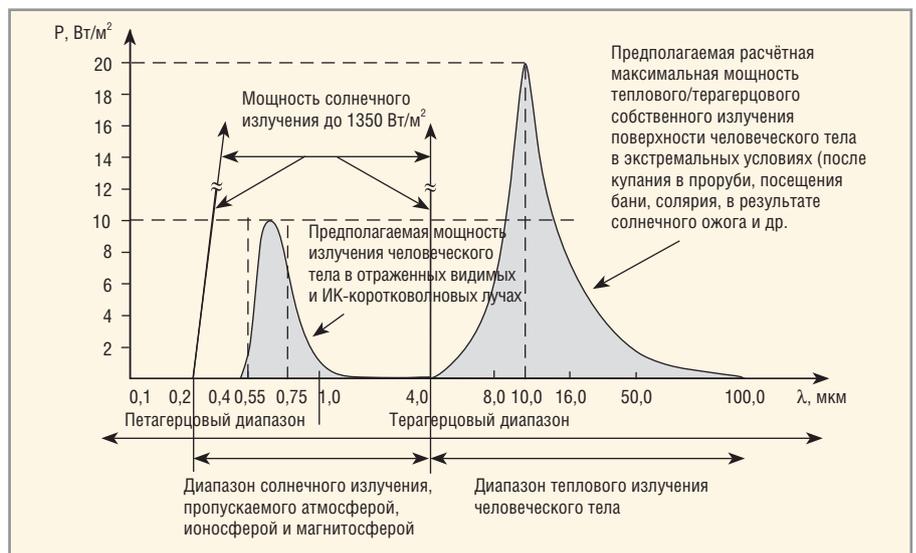


Рис. 4. Предполагаемая максимальная мощность дневного излучения человеческого тела в тера- и петадиапазоне

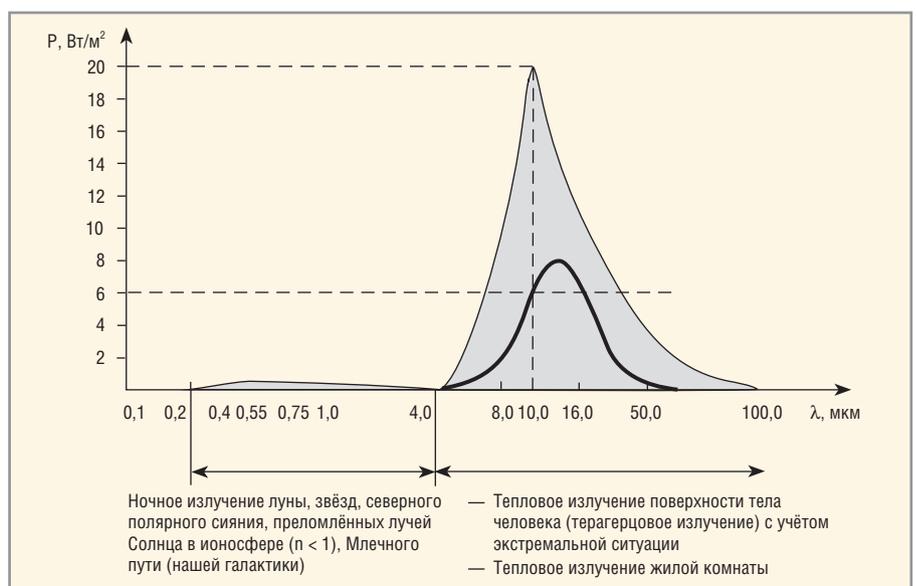


Рис. 5. Предполагаемая мощность ночного излучения околопланетного пространства, поверхности человеческого тела (кожи) и жилой комнаты [7]