# Терагерцовая тепловольтаика на основе монокристаллов LPE i-GaAs (SiO)
## Часть 2

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

**В первой части настоящей статьи (см. журнал «Современная электроника» №3, 2017) было показано, что терагерцовая среда для человека – это то же самое, что воздух, вода, пища, солнечный свет, земля или, другими словами, это – важнейшая составляющая биосреды обитания человека. Следует осознать, что терагерцовая среда существует с древнейших времен. Необходимо понимать терагерцовую биоэнергетику хотя бы на уровне теории Пойнтинга или на модах Блоха. С целью познания, влияния, управления терагерцовой энергетикой сегодня нужны доступные, сверхкомпактные, «не криогенные», высокочувствительные метрологические инструменты. Опыт полупроводниковой (зонной) микроболометрии создания приборов ночного видения показывает, что нужны абсолютно новые материалы, новая физика, новый дизайн, новая технология. Наша очередная, пока, естественно, на доступном, тривиальном уровне (с учётом готовности читательской среды), публикация (а именно, вторая часть статьи) и посвящена этому важному для научного сообщества вопросу.**

### Некоторые вопросы, связанные с электромагнитным излучением человека

1. Гипноз, аутотренинг, предвидение, физиология, биоэнергия. По данным вопросам можно многое почерпнуть из публикаций в рамках осуществлявшейся в советское время программы работ по исследованию физических полей биообъектов в ИРЭ РАН [4, 5].
2. Специфика осязания растительным миром намерений человека достаточно объёмно рассмотрена в работе [8], где продемонстрированы уникальные эксперименты «считывания» мыслей человека растительной средой на основе электромагнитной регистрации энергообмена.
3. Исходя их факта резонансного поглощения электромагнитной энергии на частотах 18...19 ГГц (молекула воды), 60 ГГц (атомы кислорода) и ряда других частот терадиапазона, особенно на «чёрной» частоте ($\lambda$ = 10 мкм) человеческого абсолютного поглощения ИК-волн, можно с полной уверенностью говорить о том, что пора прекратить небезвредную практику терапии человека с использованием частиц с энергиями в сотни кэВ и даже МэВ, и перейти на мягкие человеческие энергии от 0,1 эВ и менее. Напомним, что человеческий организм, состоящий на 3/4 из молекул воды (биоклетки), исключительно чувствителен к квантам с энергией уже от 1,22 эВ (электролиз воды). При энергии 6 эВ начинается электронное «газирование» воды, а при E > 12,3 эВ происходит полная катастрофа, когда молекула воды распадается на атомы водорода и кислорода («гремучий газ»). Отсюда следует логическое заключение, что при многократной чистке крови лазерным излучением уже с видимого диапазона частот человек рискует получить лейкемию. Следует отметить, что РАН в 2002 г. приняла Программу «Фундаментальные науки – медицине».
4. Академик, д.т.н., профессор И.В. Гуляев и д.т.н., профессор Э.Э. Годик наглядно показали разницу «художественного» электромагнитного образа человека в отражённых видимых лучах оптического света (то, что мы фиксируем на цветных фотографиях, слайдах, видеоклипах и т.д.) и абсолютно своеобразного, специфичного, строго индивидуального, невидимого ИК-образа человеческой личности в его собственных лучах. При этом следует понимать, что комплексный пакет излучения человека является уникальной возможностью «рассмотреть и прочитать» личность в ИК-излучении с учётом: национальной или расовой принадлежности, геомагнитной специфики местности (среды) обитания, ИК-энергетики потребляемой пищи как органического происхождения (рис, хлеб, животные продукты, цитрусовые, сухофрукты и др.), так и минерального происхождения (микроэлементы, поступающие с водой, субнанокластерное геостроение молекулярных соединений воды, минералы из фруктов, мяса, дисперсных частиц воздуха и т.д.). Следовательно, каждый человек, как индивидуальный объект, имеет только своё, уникальное ИК-изображение, которое является неповторимым в природе. Это и обеспечивает 100-процентную эффективность ИК-образа в методах идентификации личности, в новейшем банкинге или методах борьбы с терроризмом. Неизбежно через два-три десятка лет появится новый «биопаспорт» человека на основе индивидуального ИК-излучения, который будет содержать абсолютно все данные, необходимые для его идентификации и разумной интеграции в сообщество. При изменении параметров биосреды электромагнитное излучение человека останется строго индивидуальным.

### Тепловольтаика на основе излучения человеческого тела (мини-ТЭЦ, дизайн-модели)

Предлагаемые нами новые модели неохлаждаемых длинноволновых ИК-фотоприёмников и тепловольтаики основаны на использовании гетеросистем, планируемых к созданию на материнской платформе в виде LPE i-GaAs (SiO) монокристаллов.

Моделирование новых ИК-приёмников и тепловольтаики связано с эксплуатацией ряда физических явлений, часть которых является классическими явлениями, т.е. общепринятыми в электродинамике, зонной теории прово-

димости, а другая часть представляет собой новые физические принципы работы, которые представлены авторами в ряде предшествующих публикаций в журнале «Современная электроника», а именно:

- механизм поглощения ИК-фотонов (на колебаниях решётки, на свободных носителях заряда, амфотерно-примесном поглощении, прямоходном зона/зона поглощении);
- максвелловское сшивание двух гетеросред, когда $\varepsilon_1\varepsilon_0E_1 = \varepsilon_2\varepsilon_0E_2$ ($\varepsilon\varepsilon_0E = \mu\mu_0H$);
- явление полевого туннелирования носителей заряда на границе гетеросред;
- термоэмиссионная модель переноса заряда в гетеросистеме полупроводник–металл;
- явление разогрева энергетических зон двух твердотельных гетеросред с различным сродством к электрону;
- явление твердовакуумного квантово-точечного обеднения или аккумуляция энергии в кристалле под воздействием внешнего частотно-полевого возбуждения;
- физические явления, связанные с возникновением энергозон в запрещённой зоне LPE i-GaAs (SiO) монокристалла, легированного амфотерной примесью, или явления «зоны в зоне» (мультизонность).

В целом, физические способы приёма и преобразования длинноволновых ИК-волн вплоть до $\lambda$ = 12 мкм можно разделить на две группы:

- мультизонную (полупроводниковую);
- релятивистскую (твёрдовакуумную).

Уникальные свойства и новые физические явления, проявляющиеся в кристаллах LPE i-GaAs (SiO) и гетеросистемах на их основе:

- диодный аналог транзисторного усилителя (эффект суперинжекции Ж.И. Алфёрова);
- подвижность электронов, сравнимая с антимонидом индия (InSb), и филаментарная плотность тока в транзисторах «два в одном» на порядок выше, чем в таких металлах, как Au, Ag, Cu;
- ДОС на участке прямой ВАХ, релятивистско-зонный вентиль;
- невозможность описания и моделирования свободных носителей заряда посредством уравнения Шрёдингера;
- встроенно-экситонные стационарные квазиуровни Ферми;
- несовместимость с классическим законом действующих масс;
- ярко выраженные явления отклонения (на два-три порядка) от классических уровней энергий ионизации элементов IV гр. таблицы Д.И. Менделеева в GaAs;
- эффект сверхполевого туннелирования;
- эффект резонансно-параметрического усиления СВЧ- и ТГц-волн в диэлектрике LPE i-GaAs и, в конечном счёте, ожидаемый эффект «поляризационной катастрофы» (вырождение оптической запрещённой зоны GaAs в kT-щель);

Всё это в более или менее доступной форме (кроме эффекта «поляризационной катастрофы») было описано на страницах журнала «Современная электроника» [1, 2, 9], представлено на НТС в «Микроне» (февраль 2014 г.), показано в презентациях в АО «Интеграл», НАН Беларуси (сентябрь 2016 г.), Ульяновского государственного технического университета и Ульяновского филиала Агентства стратегических инициатив

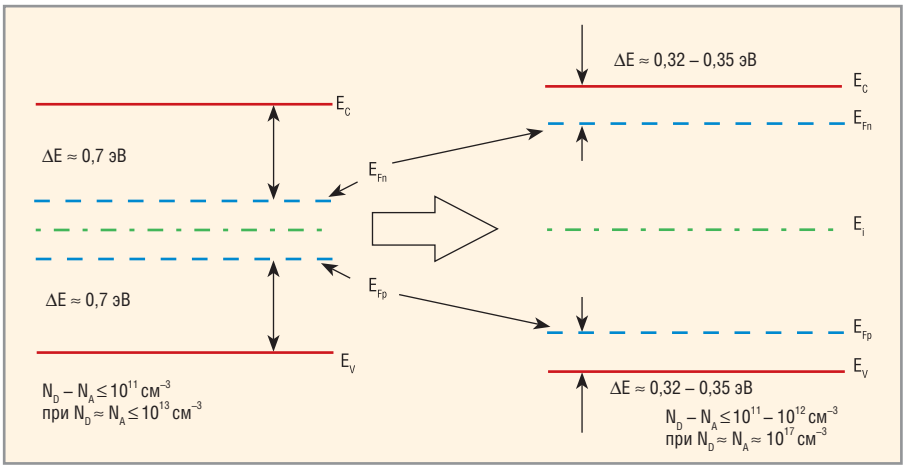


**Рис. 6. Изменение «экситонных» квазиуровней Ферми в зависимости от уровня легирования амфотерной примесью LPE i-GaAs монокристалла («зоны в зоне»)**

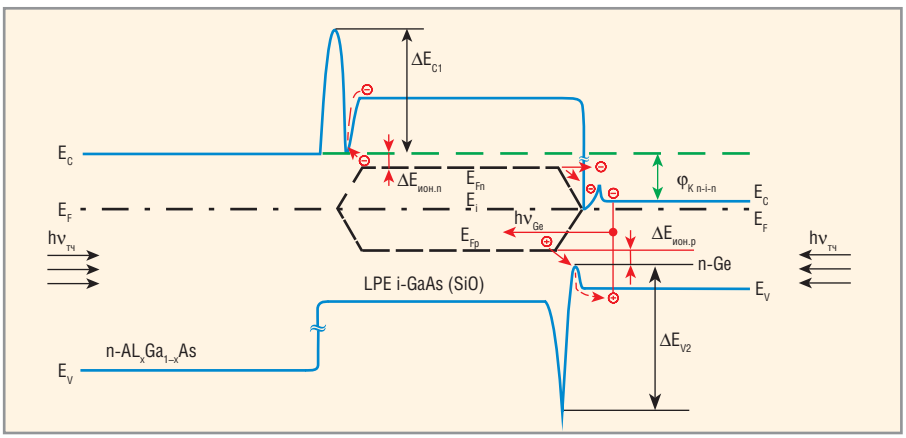


**Рис. 7. Зонный профиль комбинированных двух встречно включённых изотипных n-i и i-n гетеропереходов AlGaAs-GaAs и GaAs-Ge (двойной разрыв зон в динамике с $h\nu_{Ge}$-электролюминесценцией германиевой решётки)**

(ноябрь 2016 г.), а также на промежуточных технических совещаниях АФК, РТИ, МИЭТ (Москва), АО «Авангард» (Санкт-Петербург), ОАО «ОКБ-Планета» (г. Великий Новгород), МФТИ (г. Долгопрудный), СКФУ (г. Ставрополь), ФПИ (Москва) и др.

В данном разделе целесообразно остановиться на фактически базовом физическом явлении «зоны в зоне», когда в оптическую запрещённую зону GaAs (1,42 эВ) встраиваются две абсолютно равноценные ИК запрещённые энергозоны с изменением энергии от величины собственного химического потенциала до минимизации энергии ионизации амфотерной примеси относительно соответствующих краёв оптической запрещённой зоны GaAs.

Ещё раз подчеркнём, что явление «зоны в зоне» базируется на инвертировании i-типа проводимости (изолятор) в n- или p-тип, в зависимости от условий термодинамики в LPE-процессе рекристаллизации GaAs при легировании монокристалла амфотерными примесями четвёртой группы таблицы Д.И. Менделеева, Si и Ge [9, 10]. Сущность явления, описанного в [10], основана на взаимодействии энергии амфотерного атома в подрешётках Ga и As и монотонного уменьшения энергии ионизации амфотерных атомов в донорных узлах (подрешётка Ga) и акцепторных узлах (подрешётка As) кристаллической решётки GaAs вплоть до «комнатной», т.е. терагерцовой kT-ионизации с переходом равенства количества амфотерных атомов акцепторного типа и донорного типа в подрешётках Ga (донор) и As (акцептор) в пределах концентраций $N_A \approx N_D$ от $\sqrt{2,41} \times 10^{11}$ см$^{-3}$ в неравенство $\frac{N_D}{N_A} > 1$ (при $N_D = N_A$ от $10^{17}$ см$^{-3}$) (n-тип проводимости). Таким образом, в LPE-процессе при насыщении амфотерной примесью решётки GaAs свыше (1...3) × $10^{17}$ происходит инвертирование типа проводимости. В результате мы можем получить дисперсию энергии ионизации амфотерной примеси в широких пределах от 0,7 эВ (≈1,65 мкм, ИК-диапазон, практически как у Ge или GaSb) до уровня «криогенных» ИК-приёмников на основе InSb и InAs (3...5 мкм, средний ИК-диапазон) и CdHgTe (8...12 мкм, дальний ИК-диапазон).

В итоге, открываются очень неплохие возможности для создания ИК-устройств ночного и теплового видения. В обоих случаях – терагерцового сверхчувствительного широкополосного приёма.

Качественная интерпретация ИК LPE i-GaAs (SiO) фотоприёмника (до 3 мкм) показана на рисунке 6.

Далее, для упрощения восприятия материала, мы предложим дизайн-модели эффективного неохлаждаемого ИК-фотоприёма «чёрных» тепловых волн человеческого тела с λ ≈ 8...12 мкм (E ≈ 0,1 эВ ± Δ) и, конечно, тепловых миниэлектрогенераторов на основе теплового излучения человеческого тела.

Из анализа профиля энергетики сопряжённых гетеросред на базе GaAs в [11, 12] и с учётом согласования сред по ТКР, постоянной решётки, сродства к электрону, плотности нежелательных энергосостояний на границе раздела гетеросред, а также с учётом типа проводимости, для нашего модельного случая наиболее приемлемы следующие гетеросистемы:

- n-AlGaAs-i-GaAs;
- n-Ge-i-GaAs.

Рассмотрим зонную энергетику гетеросистемы, состоящей из двух встречно включённых изотипных гетеросистем n-i-n типа AlGaAs-GaAs-Ge.

Энергетическая диаграмма бинарной изотипной гетеросистемы AlGaAs-GaAs-Ge с учётом плотности состояний амфотерной примеси в запрещённой зоне представлена на рисунке 7.

На рисунке 7 показаны энергетические разрывы в зоне проводимости гетероперехода n-i AlGaAs-GaAs $\Delta E_{C1}$ и в валентной зоне i-n гетероперехода GaAs-Ge – $\Delta E_{V2}$. «Встроенные» амфотерные квазиуровни Ферми $E_{Fn}$ и $E_{Fp}$ показывают уровень концентрации легирующей примеси на основе атомов Si в подрешётках Ga ($E_{Fn}$) и As ($E_{Fp}$).

Манипулируя физическими величинами (сродством к электрону χ в решётках n-AlGaAs, i-GaAs и n-Ge, а также уровнями легирования донорной и амфотерных примесей в соответствующих подзонах комбинированной n-i-n гетеросистемы AlGaAs-GaAs-Ge), мы сможем установить уровень энергетических щелей $\Delta E_{ион.n}$ и $\Delta E_{ион.p}$ на уровне энергий, меньших, чем энергия kT-квантов

человеческого тела, на их экстремальном уровне (плотности) излучения при $kT \approx 0{,}1$ эВ или $\lambda \approx 10$ мкм ± 1,0 мкм.

Контактная разность потенциалов диодной гетероизотипной системы, показанной на рисунке 7, $\varphi_{K\ n\text{-}i\text{-}n}$ может экспериментальным путём варьироваться в пределах 0,35...0,15 эВ. При ИК-облучении тепловыми квантами kT (hν) уровня 0,1 эВ и ниже будет происходить ионизация амфотерной примеси в зоне энергоразрыва, соответствующей донорной генерации электронов с их последующим туннелированием с уровней $E_{Fn}$ в квантовую яму энергоразрыва и дрейфом на более высокие уровни в зоне проводимости i-GaAs и Ge. Дрейф электронов из квантовой ямы зоны разрыва на более высокие энергетические уровни в зоне проводимости осуществляется мощным внутренним полем на границе раздела. Точно такой же процесс будет наблюдаться и при ионизации акцепторной амфотерной примеси с последующим туннельно-полевым транспортом дырок в валентную зону. Аккумуляция электронов и дырок в зоне гетероразрыва германия с GaAs вызовет электролюминисценцию квантов вследствие рекомбинации зона-зона, зона-уровни с энергиями $h\nu \leq E_{g\ Ge} \approx$ ≈ 0,69 эВ. Этого будет достаточно для того, чтобы ионизировать акцепторные амфотерные центры в LPE i-GaAs. Кроме того, начнётся процесс автогенерации ИК ЭДС квантами излучения из германиевой решётки, что резко повысит эффективность такой «тепловой мини-электростанции».

Вследствие нарушения классического квазибаланса $n \times p = n_i^2$ в условиях ИК длинноволновой внешней реакции и, с учётом аккумуляции неравновесных электронов в зоне i-GaAs и дырок в валентной зоне Ge (что эквивалентно дополнительному накоплению электронов в i-зоне), произойдёт разбаланс сшивания уровней Ферми в гетеросистеме AlGaAs-GaAs-Ge, который, в конечном счёте, количественно отразится в виде ИК фото-ЭДС или тепловом электрогенераторе, в принципе, менее мощного (на один-полтора порядка) аналога солнечной фото-ЭДС. Потенциал $\varphi_{Kn\text{-}i\text{-}n}$ изменится на десятки и единицы сотен милливольт.

Разрыв энергозон в зоне проводимости изотипного перехода n-i AlGaAs-GaAs легко рассчитывается из экспериментальных результатов, представленных в [12] (см. рис. 8 и 9).

Из графиков видно, что величина $\Delta E_{Cn}$ в системе AlGaAs-GaAs при ширине запрещённой зоны $Al_{0,3}Ga_{0,7}As$ около 1,8 эВ достигает уровня 0,4 эВ.

В том же источнике [12] показано, что при T = 300 K разрыв валентных зон в системе GaAs-Ge может достигать максимального уровня $\Delta E_{Fp}$, равного 0,55 эВ, что является величиной, сопоставимой с $\Delta E_{g\ Ge} \approx 0{,}69$ эВ. Наряду с этим, важно также иметь в виду, что в системе i-GaAs-$n^+$-Ge ожидается разрыв зоны проводимости $\Delta E_{Cn}$ уровня 0,15 эВ, который может увеличиваться до уровня разрыва $\Delta E_{Fp} = 0{,}55$ эВ в случае вырожденного германия ($n^{+++}$ – Ge), что благоприятно для генерации электронов с амфотерных донорных уровней. Таким образом, необходимы детальные исследования указанных гетеросистем с учётом того, что AlGaAs можно успешно заменить на GaP с $E_g = 2{,}25$ эВ. Во всех случаях необходимо учитывать то обстоятельство, что разница постоянных решё-

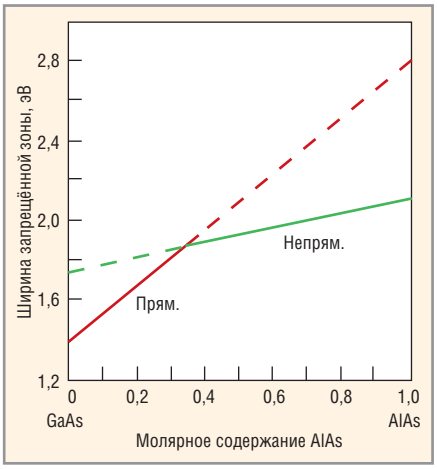


**Рис. 8. Ширина энергетической зоны $Al_xGa_{1-x}As$ и тип рекомбинации**

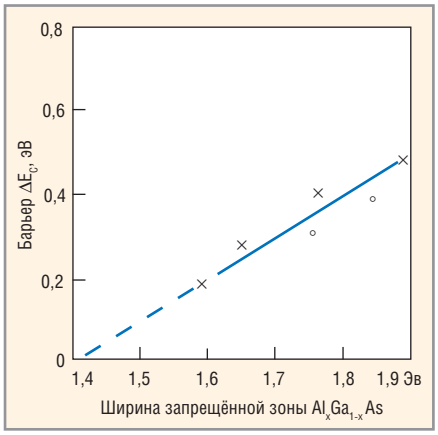


**Рис. 9. Зависимость величины энергоразрыва в зоне проводимости в гетеросистеме AlGaAs-GaAs**

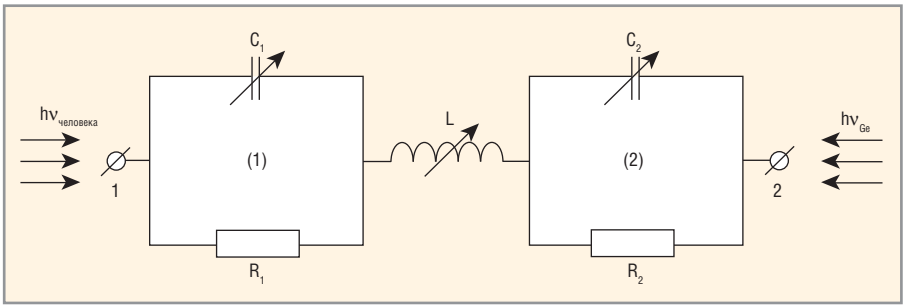


**Рис. 10. Эквивалентная схема двух последовательно включённых LC-контуров с возбуждением тепловыми ИК длинными волнами человека и ИК короткими волнами германия**

ток LPE i-GaAs (0,565 нм) сопряжённых гетерослоёв должна быть минимальной. Она почти нулевая с AlGaAs (0, 565 нм) и Ge (0,565 нм) и составляет 3,5% с GaP (0,545 нм). Если в солнечной фотовольтаике на основе кремния или MOCVD арсенида галлия (не путать с LPE i-GaAs) процессы генерации фото-ЭДС в основном связаны с генерацией электронно-дырочных пар в $n^+$-p узких зонах перехода (ОПЗ и примыкающих областях) с, как правило, доминирующим диффузионным механизмом переноса носителей заряда – электронов, полученных в результате квантового воздействия световой hν волны с λ = 0,75...0,4 мкм или E = hν ≈ 1,5...2,9 эВ, то в нашем случае данный механизм переноса генерируемых электронов будет разительно отличаться от кремниевой солнечной генерации носителей заряда. Это связано с изначальным наличием области пространственного заряда во всей i-зоне, т.е. зоны преимущественно дрейфа носителей (j = qnμE).

Механизм протекания тока через гетеросистему достаточно сложен, и его можно воспринимать как комбинацию туннельно-полевого и термоэмиссионного (по аналогии с SBD). Исключительное значение имеет и тот факт, что LPE i-GaAs (SiO) не имеет ни n-тип, ни p-тип, а собственный тип проводимости, несмотря на огромную концентрационную насыщенность растворённых амфотерных атомов кремния (до $10^{17}$ см$^{-3}$). LPE i-зона, сосредоточенная между двумя энергозонами с $E_g > 1,8$ эВ и $E_g < 0,7$ эВ, оказывает исключительно сильное влияние на эффективность переноса генерируемых с ионизируемых амфотерных центров носителей заряда (электронов и дырок) и КПД их доставки во внешнюю электрическую цепь (нагрузку).

Из экспериментальных подтверждений образования диффузионных длин электронов в LPE i-слое $L_{ni}$ до 60 мкм следует, что толщина разделительного, насыщенного амфотерной примесью i-слоя, а фактически – области пространственного заряда (ОПЗ), может достигать сопоставимых значений, или вплоть до трёхкратных значений диффузионной длины $L_{ni}$.

На рисунке 10 приведена эквивалентная схема двух встречно включённых изотипных диодов n-AlGaAs-i-GaAs (1) и $n^+$-Ge-i-GaAs (2) (по аналогии с примером на двух встречно включённых диодах с барьером Шоттки, с очень сложными по профилю энергетическими зонами), на внутреннюю энергию которых воздействуют два типа излучения.

1. Внешнее излучение с λ = 5...12 мкм с пиковым резонансным «чёрным» узкоспектральным излучением на длинах волн около 8...12 мкм.
2. Более коротковолновое излучение электролюминесцентного диода на основе германия с λ ≥ 1,65 мкм (бриллюэновская рекомбинация).

Очевидно, что два последовательных контура, обладая сверхдобротностью, будут иметь свою резонансную частоту:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

с периодом колебаний

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}},$$

где добротность будет обусловлена скоростью изменения реактивных проводимостей контуров. Т.е. $\frac{dL}{dt}$ и $\frac{dC}{dt}$, которые будут пропорциональны $\frac{d\sigma}{dt}$ (изменению проводимости в LPE i-GaAs слое). Изменение проводимости может принимать значения с огромным градиентом $\frac{d\sigma}{dt} \gg 10^6$ (до $10^8$), а это означает, что добротность такого контура может достигать не стандартных значений в варикапах на основе GaAs, равных Q ≈ 10 000, а абсолютно новых величин:

$$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} \approx 10^6...10^8.$$

Отсюда следует, что мы имеем дело не просто с аналогией DC солнечной вольтаики, а с исключительно эффективным AC/DC ЭДС-генератором с двойным оптопреобразованием.

Кроме этой разработаны и другие дизайн-модели на основе гетероструктур, в частности: $Al_{x1}Ga_{1-x1}As$-i-GaAs-$Al_{x2}Ga_{1-x2}As$, GaP-i-GaAs-AlGaAs и пр.

Приведённая модель мини-ТЭЦ очень эффективна для энергопитания кардио- и нейростимуляторов, слуховых аппаратов и, в перспективе, искусственного зрения человека на основе ранее представленных моделей терагерцового резонансно-параметрического усиления/генерации [1, 2], а также для описываемых в настоящей статье ИК-приёмников короткого излучения и длинного (теплового), т.е. микроболометров, реагирующих на излучение человеческого тела (лица, глаз, головы, рук).

Гетеротепловольтаику на основе материнского монокристалла LPE i-GaAs (SiO) можно разделить на две группы:

- пассивный ИК-локатор;
- активный ИК-локатор.

Пассивный ИК-локатор аналогичен солнечной фотовольтаике, и показан на рисунке 6. Активный ИК-локатор может быть двух типов. Один из них – с генерацией собственного электромагнитного излучения на основе упомянутых изотипных гетеросистем AlGaAs/i-GaAs/Ge. Второй вариант заключается в следующем.

Как известно, при прохождении тока через индуктивность возникает самоиндукция:

$$E_C = -L\frac{di}{dt},$$

что является одним из паразитных явлений всплеска напряжения, допустим, на IGBT и MOSFET силовых аналогах в электроприводе с ШИМ-модуляцией, которое полезно в нашем случае. ИК-гетероструктуру, показанную на рисунке 7, можно рассматривать как фототранзистор с ИК-запуском, а ИК-гетеросистему с последовательной индуктивностью L можно также рассматривать как LC-контур с резонансной частотой:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где C – переменная ёмкость, зависящая от автоколебаний тока и напряжения, определяемых стремлением разности фаз к нулю ($\cos\varphi \to 1$). Следовательно, имея в одном случае контур из ИК-фотоприёмника на одном мощном гетерокристалле и второй контур из небольшого столба гетероприёмников, мы будем иметь два контура, в результате чего несложно понять, что более мощный фотоприёмник будет периодически находиться под напряжением обратного смещения «столбового» контура. В итоге мы будем иметь своеобразный авто-блокинг-генератор импульсов резонансно-коммутируемого ИК комплексного ключа. Для питания «нательных» аппаратов биостимуляции можно использовать более высоковольтную ИК-электроэнергию для AC/DC- или AC/AC-преобразования.

## Тепловольтаика «из воздуха» («тепловой насос»)

На научно-техническом совете, посвящённом созданию новой отечественной электроники на основе структур LPE i-GaAs, докладчику был задан вопрос о том, как получить вольты «из воздуха». Вопрос выглядит наивным только на первый взгляд. Далее мы изложим свою точку зрения на проблему создания мини-ТЭЦ «из воздуха». Вначале немного истории. В статье [13] мы показали, каким образом можно опередить ряд западных стран в области создания летающей микроробототехники (до 0,06 г) – так называемых MAV-стрекоз (Micro Air Vehicle, летательный микроаппарат). Частота взмаха крыльев у западных систем на основе $^{63}$Ni/Si достигает 100 Гц. Наши системы на основе $^{147}$Pm/LPE i-GaAs (SiO) могут быть в 50 раз более эффективными. Но обратите внимание, что западная MAV-стрекоза для подразделений специального назначения может иметь подъёмную силу только 0,06 г (МЭМС бета-кантилевер), тогда как наша – в 50 раз мощнее. Однако на MAV-дроне необходимо также разместить сенсорные датчики для контроля среды, радар, приёмопередатчик, микропроцессор, навигатор и т.д. В этом случае мощность бета-источника должна быть значительно выше импульсных 1...2 мкВт. Можно ли увеличить данную мощность хотя бы в 1000 раз? Конечно, можно – на основе описанных гетеросистем активного ИК-типа, т.е. либо с ИК комбини-


www.jtaglive.ru

JTAG Live®

Начните периферийное сканирование с бесплатной версии JTAG Live Buzz

Скачайте уже сегодня с www.jtaglive.ru

→Buzz
→BuzzPlus
→AutoBuzz
→Clip
→Script
→Плееры JAM/STAPL/SVF
→JTAG Live Controller

Реклама

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

Эксклюзивный дистрибьютор: ООО «Остек-Электро»
Телефон: (495) 788-4444
E-mail: info@ostec-group.ru

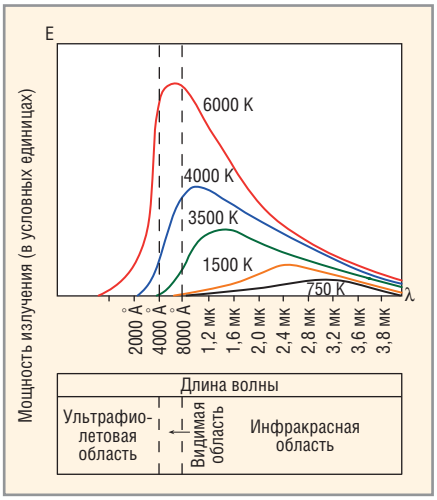


**Рис. 11. Распределение энергии в спектре излучения накалённого угля при различных температурах [17]**

рованной электролюминисцентной (внешней/внутренней) фотовольтаикой, либо с использованием варианта ИК блокинг-генератора. Если внимательно рассмотреть рисунок 5, то можно заметить ИК-спектр излучения бытовой комнаты (жилища). Проведём несложные расчёты.

Если плотность квантов солнечной радиации составляет ≈ $2 \times 10^{17}$ см$^{-2}$/с, то плотность ИК-квантов излучения человеческого тела можно определить из соотношения мощности излучения Солнца на поверхности Земли (которое, допустим, максимально в условиях солнечной Сахары ≈ 1500 Вт/м$^2$) и мощности теплового излучения человека по расчётам академика Ю.В. Гуляева [4, 5] ≈ 100...50 Вт/м$^2$. Тогда плотность ИК-квантов человеческого излучения будет определяться соотношением:

$$\frac{P_{солнца}}{h\nu_{солнца}} : \frac{P_{человека}}{h\nu_{человека}}.$$

При средней энергии солнечной радиации ≈ 1,0 эВ и человека ≈ 0,1 эВ получаем, что плотность ИК-квантов человека находится на уровне 1/3...1/5 от флюенса квантов солнечной радиации, а это, ни много, ни мало, ≈ (4...6) × × $10^{16}$ см$^2$/с или ≈ 3...4 мВт/см$^2$.

Для количественной оценки ИК-квантов в «тёмной» жилой комнате и их энергонаполняемости примем во внимание тот факт, что при температуре окружающей среды T ≈ 300 K человек чувствует себя достаточно комфортно, т.е. при этих температурах наступает баланс теплоприёма и теплоотдачи человеческого тела. Зная о том, что в нормальных условиях (25°C) средняя энергия молекул воздуха (кислорода при средней тепловой скорости молекулы $O_2$ ≈ 640 м/с, что составляет удвоенную скорость звука, или молекулы азота при средней тепловой скорости ≈ 493 м/с) оценивается приблизительно как E = 3/2 kT, можно сделать вывод, что основной энергообмен между воздушной средой и человеком происходит приблизительно на волнах с λ ≈ 8...50 мкм (см. рис. 5). Т.е. диапазон, на который приходится больше половины излучения/поглощения человеком и до 90% теплового излучения бытовой комнаты. Этому соответствует диапазон энергий 0,14...0,02 эВ (или от 5,4 до 0,77 kT). Исходя из предположения, что плотность тепловых квантов (см. рис. 5) с энергией E ≥ 0,1 эВ (или с λ = 4,0...12 мкм) составляет 1/4 плотности теплового излучения в комнате, то ожидаемая плотность квантов с энергией больше 0,1 эВ приблизительно равна $10^{16}$ см$^{-2}$/с или с прогнозируемой энергией приёма ИК-излучения комнаты на уровне E ≈ 3...4 мВт/см$^2$) × η/4, где η – КПД фотоприёмника.

Таким образом, мы ожидаем, что энергия излучения бытовой «тёмной» комнаты при T = 300 K (27°C) составляет, по крайней мере, 100...200 мкВт/см$^2$, что в несколько раз превышает даже «нательные» термо-ЭДС, показанные учёными Калифорнийского университета, Техасского университета A&M и Университета штата Северная Каролина США [14, 15, 16]. Предложенные нами микро-ТЭЦ очень удобны для применения в радарно-мониторинговых MAV-стрекозах для подразделений специального назначения или для МЧС. В итоге можно не только найти в «тёмной комнате чёрную кошку» (террориста), но и эффективно воспользоваться его же тепловой излучаемой энергией.

## Электроника «на углях»

Если человек заблудился в тайге, особенно в зимний период, или в горах, или в тундре, а батарейки в сотовом телефоне или других средствах связи разряжены, то можно просто развести костёр и, используя его тепло, включить мини-ТЭЦ (блок питания), разработанный на основе LPE i-GaAs (SiO) тепловольтаики с использованием приведённых конструкций.

С учётом того, что угли излучают кванты в широчайшем диапазоне (от видимых оптических волн до длинных ИК-волн, в течение нескольких часов), можно заменить приёмопередатчик сотового телефона или других средств связи для подачи сигнала с целью установления координат местоположения человека. Это будет полезно для егерей, геологов, службы МЧС, отрядов специального назначения и т.д. Конечно, для того, чтобы воспользоваться новыми возможностями, нужно иметь с собой компактный и лёгкий тепловольтаидный генератор. Спектр излучения энергии раскалённого угля показан на рисунке 11.

## Заключение

В настоящей статье показан вариант потенциального исполнения «теплового насоса» на двух видах топлива – тепловом излучении человека и тепловой энергии молекул газа в бытовом помещении, а также на тепловой энергии почвы, воды, окружающей атмосферы. Эффективность предложенной модели «теплового насоса» предполагается значительно более высокой, чем у зарубежных аналогов.

Приведённые варианты исполнения мини- и микро-ТЭЦ ожидаемо будут иметь исключительно высокий уровень востребованности в медицине, в быту и в других областях (кардио- и нейростимуляторы, слуховые аппараты, искусственное электронное зрение, приборы ночного видения, системы безопасности и др.).

Микрочиповый индивидуальный ИК-томограф на основе описанных приёмных ИК-гетеросистем может представлять собой повседневный инструмент мониторинга биоэнергетики человека (его психологического состояния, совместимости с энергетикой окружающей среды, физического состояния и др.), а также как инструмент для уверенной диагностики опаснейших заболеваний – онкологии, сердечно-сосудистых аномалий, диабета, вирусных заболеваний и др.).

Предлагаемые микроболометрические «тепловые насосы», усиленные терагерцовыми поляризованными [1, 2] системами, предоставляют уникальную возможность реализации электронного биопаспорта для каждого жителя планеты (с рождения) взамен существующих бумажных гражданских паспортов.

Биопаспорт, как сугубо индивидуальный электромагнитный, биоэнергетический и психологический идентификатор – это уникальнейший инструмент для борьбы с терроризмом.

Индивидуальный биопаспорт создаёт предпосылки для появления новей-

шей технологической платформы синтеза терагерцовых информационных технологий в банковских системах с терагерцовой идентификацией личности, обеспечивающей абсолютную защищённость финансовых операций, что, в конечном счёте, приведёт к полной виртуализации валюты и глубокой реструктуризации банковской системы. Произойдёт переход на терагерцовые финансовые операции через сеть пета-ёмкостных data-центров, связанных непосредственно с индивидуальными пользователями.

Модель «теплового насоса» с коммерческой точки зрения даже более перспективна, чем совокупный валовой продукт Рособоронэкспорта, а в сочетании с терагерцовой электроникой [1, 2], по сути, является твердотельным заменителем углеводородной составляющей экономики.

Наше очередное предложение, достаточно смелое с научной точки зрения, как и другие предложения, представленные ранее на страницах журнала «Современная электроника», можно реально рассматривать как очередной вклад в создание Национальной ФЦП по развитию отечественной электроники, опережающей мировой уровень.

## 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., Калашников 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 информация». М. Наука. 1984. Стр. 111–116.
6. *Госсорг Ж.* Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. М. Мир. 1988.
7. *Гроссе П.* Свободные электроны в твёрдых телах. М. Мир. 1982.
8. *Коган И.М.* Прикладная теория информации. М. Радио и связь. 1981.
9. *Войтович В.Е., Гордеев А.И., Думаневич А.Н.* Новая экстремальная электроника на основе LPE i-GaAs монокристаллов. Современная электроника. 2014. № 6.
10. *Нашельский А.Я.* Монокристаллы полупроводников. Москва. Металлургия. 1978.
11. *Шарма Б.Л., Пурохит Р.К.* Полупроводниковые гетеропереходы. М. Советское радио. 1979.
12. *Милнс А., Фойхт Д.* Гетеропереходы и переходы металл–полупроводник. М. Мир.1975.
13. *Войтович В.Е., Гордеев А.И., Думаневич А.Н.* Моделирование новой бета-вольтаики на монокристаллах LPE i-GaAs. Современная электроника. 2015. № 6.
14. *Misra V. et al.* Flexible Technologies for Self-Powered Wearable Health and Environmental Sensing. Proc. IEEE 103. 665–681. 2015.
15. *Ostfeld A.E. et al.* High-Performance Flexible Energy Storage and Harvesting System for Wearable Electronics. *Sci. Rep.* 6. 26122. 2016.
16. *Choongho Yu.* Thermally Self-Chargeable Flexible Energy Storage Device. Texas T&M University. www.tamus.flintbox.com/public/filedownload/9016/TAMU%204371%20White%20Paper.
17. *Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г.* Справочник по элементарной физике. Москва. Наука. 1962.


# Новости мира News of the World Новости мира

## Форум Altium 2017: инновации в проектировании электроники

Компания Altium Limited, ведущий мировой разработчик в области автоматизации проектирования электронных устройств, объявляет о начале регистрации участников на форум Altium 2017 «Инновации в проектировании электроники», который пройдёт 23 мая 2017 г. в Москве.

Ежегодный форум Altium – это площадка, которая даёт возможность для общения и обмена опытом между разработчиками, инженерами и пользователями продуктов для проектирования электронных устройств.

В этом году в рамках форума участники смогут первыми узнать обо всех новых возможностях Altium Designer 17.1 и Altium Vault 3.0. Пользователи смогут получить информацию и о других продуктах компании, а также узнать больше об идеологии развития программных решений разработчика.

Кроме того, все желающие смогут самостоятельно ознакомиться с новыми функциональными возможностями Altium Designer 17.1. Для этого во время мероприятия будет действовать User-zone – специально оборудованная площадка с рабочими местами, где участники также смогут получить индивидуальную консультацию по решениям компании от технических специалистов Altium.

Программа форума и регистрация доступны на сайте Altium Limited.

Заявки на участие принимаются до 12 мая 2017 г. включительно. Участие в форуме бесплатное.

***www.altium.com***

## 1,8 млрд рублей на модернизацию электротехнического производства Росэлектроники

Холдинг «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех направит на модернизацию крупнейшего производителя электровакуумного коммутационного оборудования – саратовского АО «НПП «Контакт» – 1,8 млрд рублей. Такой объём инвестиций предусмотрен в рамках одной из федеральных целевых программ и рассчитан на период 2016–2019 гг.

Планируется, что в общем объёме инвестиций 1,62 млрд рублей составят средства федерального бюджета, а 0,18 млрд рублей – собственные средства предприятия. В 2016 г. НПП «Контакт» уже направило на реализацию программных мероприятий 30 млн рублей. Предполагается, что в следующие три года предприятие будет вкладывать в техперевооружение по 50 млн рублей. При этом федеральное финансирование начнётся в текущем году (1,08 млрд рублей) и завершится в 2018 г. (540 млн рублей).

Проект предусматривает оснащение производства современным высокоточным оборудованием и созданием испытательного комплекса. В частности, планируется закупить токарные и фрезерные станки с числовым программным управлением (ЧПУ), а также специальные обрабатывающие центры, в том числе импортные. Кроме того, предполагается установить вакуумные и водородные печи, откачные посты, установки лазерной сварки. Планируется заменить оборудование азотно-кислородной станции, компрессорной станции, системы оборотного водоснабжения и обеспечения деионизированной водой. Для оснащения испытательного оборудования предусмотрена закупка широкого ассортимента измерительных приборов и устройств.

***www.ruselectronics.ru***