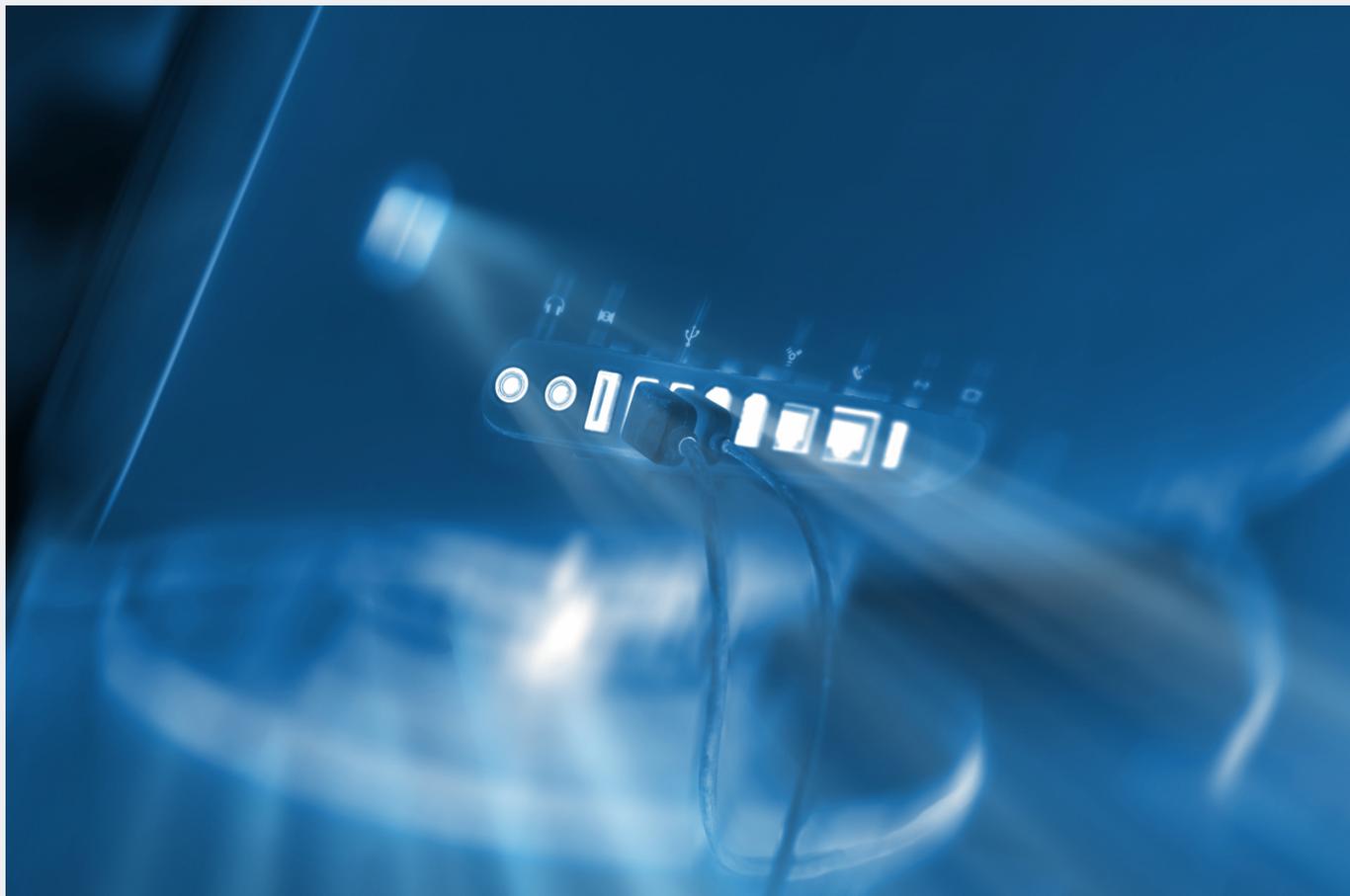


## Утилизация тепла - экологичный способ получения энергии



**Ученые активно ведут поиск экологичных способов получения энергии и занимаются повышением эффективности используемых технологий. Одним из перспективных альтернативных способов является применение термоэлектрогенераторов.**

Термоэлектрогенератор служит для преобразования тепловой энергии в электрическую. В основе разработки – углеродная наноструктура, имеющая сложную стехиометрию. При нагреве в ней запускаются квантовые электродинамические процессы взаимодействия структурной подсистемы (решетки) и электронной подсистемы. При этом углеродная наноструктура испускает электроны. Поток носителей заряда между горячими и холодными областями создает разность потенциалов. В итоге взаимодействия при нагревании в термоэлектрическом генераторе возникает электрический ток.

Исследователи Высшей школы атомной и тепловой энергетики Политеха разрабатывают новые термоэлектрические материалы, чтобы создать термоэлектродгенератор (ТЭГ) с высоким выходным напряжением, низким внутренним электрическим сопротивлением и высокой электрической мощностью, пригодный для коммерческого использования.

Одной из основных проблем, ограничивающих получение высокоэффективных материалов, является зависимость коэффициента Зеебека и электропроводности, при которой увеличение коэффициента Зеебека приводит к уменьшению концентрации носителей, а затем к уменьшению электропроводности. Второй проблемой являются большие потери тепла и, соответственно, очень низкий КПД создаваемых устройств.

### **Технологии создания термопар для ТЭГ**

Кремниевая технология CMOS служит для создания небольших ТЭГ (размеры – несколько микро- и нанометров) и позволяет создавать микрополости в кремниевой подложке для предотвращения рассеивания тепла. В последнее время стали использоваться кремниевые нанонити (SiNW).

Технология с использованием глинозема ( $Al_2O_3$ ) и низкотемпературной керамики совместного обжига (LTCC) позволяет создать многослойную структуру для ТЭГ высокой плотности. Достоинствами является способность к многослойному осаждению, простота изготовления, низкая стоимость, хорошая стойкость при высокой температуре и нагрузке, а также долговечность изделий.

Термопары на основе толстой пленки изготавливаются с применением технологии трафаретной печати с использованием большого количества различных материалов, таких как Ag, PdAg, Ni, Pt, Al, W и Pd. Тонкие пленки создаются с применением различных методов осаждения из микроэлектронной индустрии, использованием металлов и полупроводниковых материалов,

таких как германий и композиции на его основе.

Тонкопленочные полупроводниковые материалы на керамической основе имеют высокий коэффициент Зеебека, но они также обладают очень высоким удельным электрическим сопротивлением. Кроме того, керамические подложки обладают низкой теплопроводностью, по сравнению с кремниевыми, около 3,3 Вт/м кв., что обеспечивает важное тепловое сопротивление (ТС) генератора на основе керамики. Это впоследствии приводит к градиенту высокой температуры вдоль ТЭГ на основе LTCC и к значительному выходному напряжению. Подложки на керамической основе наиболее подходят для конструкции бокового тега, позволяют уменьшить теплопередачу между плечами ТС и получить более высокую разницу температур между горячим и холодным контактами. Для вертикальной конструкции ТЭГ эта технология может быть представлена изготовлением кронштейнов ТС вертикально вдоль подложки путем пробивки нескольких отверстий в подложке и заполнения их проводящей пастой для получения вертикального расположения ТС.

Полимерные подложки являются наиболее подходящими для создания гибких ТЭГ для медицинских носимых устройств. Используемые методы включают трафаретную печать для толстых пленок и электроосаждение, распыление или испарение для изготовления тонких пленок.

Иногда для создания ТЭГ используется целлюлозная (бумажная) подложка с напылением соединений никеля, а также трикотажная подложка.

### ***ТЭГ и легковые автомобили***

Автоконцерны BMW, Honda, Renault, Ford проводили разработку термоэлектродгенератора для преобразования тепла, выделяемого выхлопными газами от двигателя внутреннего сгорания (ДВС), в электрическую энергию. До 40% энергии от сгорания топлива тратится впустую в виде выхлопных газов. Их температура варьируется от 100°C до 800°C при тепловой мощности до 10 кВт, в зависимости от скорости автомобиля и категории топлива. Это ценный источник для выработки энергии, поэтому преобразование выделяемого тепла способно повысить производительность двигателя и снизить расход топлива на 15-20% на бензиновых, дизельных и гибридных легковых автомобилях. При этом уменьшится загрязнение атмосферы.

Одной из проблем, возникающих у разработчиков, является неоднородная температура поверхностей теплообменника. Это приводит к увеличению паразитного эффекта Пелтье и снижению энергоэффективности. Чтобы избежать этой проблемы, исследователи использовали теплоизолирующие модули для теплообменника отработавших газов из кремнеземного волокна толщиной 0,1-0,3 мм. Это позволило повысить выходную мощность на 22,5% по сравнению с ТЭГ без теплоизоляции.

Крупнейшая программа по разработке термоэлектрических систем рекуперации отработанного тепла для легковых автомобилей была подготовлена компанией Bell Solid-State Thermoelectric (BSST) при содействии Министерства энергетики США для автомобилей BMW и Ford. Проект проходил с 2004 по 2012 годы с общим объемом финансирования \$10,8 млн.

Компания Crane разработала вертикальную систему рекуперации тепла выхлопных газов на основе ТЭГ для автомобилей BMW и Ford.

Дальнейшие разработки были остановлены в связи с тем, что крупнейшие компании-автопроизводители перешли на разработку электромобилей и не планируют использование двигателей внутреннего сгорания для легковых автомобилей.

### ***ТЭГ и медицинские носимые устройства***

Тепло тела человека может быть преобразовано в электроэнергию для питания носимых (IMD) и имплантируемых медицинских устройств (MIMC).

Использование ТЭГ для зарядки имплантированных медицинских устройств является отличным решением. Особенно в случаях, когда для замены обычных батарей кардиостимулятора врачам приходится прибегать к дорогостоящей операции. Возможно использовать ТЭГ для зарядки аккумуляторов протезов, например бионической руки.

ТЭГ может питать беспроводные медицинские устройства, которые контролируют состояние больного, сигнализируют о возникающих проблемах, дистанционно передают информацию врачам.

Носимые медицинские устройства предназначены и для здоровых людей, например, для постоянного обследования во время занятий спортом или фитнес-трекеры для повседневной жизни для отслеживания активности, пройденного расстояния, измерения пульса, температуры, давления и др.

В смарт-часы Matrix Power Watch, работающие от ТЭГ, помимо фитнес-функций, встроен пульсоксиметр, предназначенный для контроля насыщения крови кислородом.

### ***ТЭГ и беспроводные сенсорные сети***

Беспроводные сенсорные сети (WSNs) используют интеллектуальную сеть датчиков и передают полученные данные по беспроводной связи. Применение ТЭГ для автономных источников питания WSNs помогает упростить их техническое обслуживание и снизить затраты. Эта технология в сочетании с ТЭГ применяется во многих областях: управление энергетикой промышленных, коммерческих и жилых интеллектуальных зданий (BEM), контроль за промышленным оборудованием и механизмами, мониторинг безопасности воздушных судов и их летные испытания.

В целом термоэлектрические генераторы доказали свою полезность для питания электрических устройств малой мощности, обеспечивая утилизацию тепла и снижая затраты на электроэнергию. Аналитики полагают, что объем рынка термоэлектрических генераторов вырастет с \$460 млн в 2019 г. до \$741 млн к 2025 г. Есть за что бороться.

