

важные за рубежом молодые ученые смогут ознакомиться не только с тем, что делается в той или иной лаборатории, но и с основными идеями наших коллег в других странах.

## МЕЧТА? НЕТ — БЛИЗКАЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТЬ\*

В решениях XXI съезда КПСС полупроводники, наряду с другими областями передовой техники, характеризуются как одно из ведущих средств технического прогресса в семилетнем плане. И это совершенно правильно. Нас, работников этого фронта науки и техники, решения съезда вдохновляют на достижение новых успехов, которые послужат нашим вкладом в выполнение величественных задач развернутого строительства коммунизма.

Полупроводники — одна из самых молодых отраслей науки и техники. Наиболее известны полупроводниковые приборы радиотехники. Полвека назад появились вакуумные лампы, которые внесли перелом в радиотехнику и обусловили ее бурное развитие. Теперь аналогичную роль играют полупроводники. Новые миниатюрные приборы в десятки раз меньше по своим размерам, чем радиолампы. Они потребляют во много раз меньше электроэнергии, не требуют предварительного накала и мгновенно вступают в действие, не боятся ударов и сотрясений. Все эти преимущества и ряд других открывают новые возможности перед радиотехникой и электроникой. Решительно облегчается построение электронно-счетных машин, которым предстоит громадное будущее.

Такие же приборы превращают энергию солнечных лучей в электрическую. Уже более девяти месяцев полупроводниковые фотоэлементы снабжают энергией наш третий искусственный спутник Земли. Полупроводниковые выпрямители превращают переменный ток в постоянный почти без потерь энергии и открывают реальные возможности для электрификации транспорта, для передачи энергии на большие расстояния. Полупроводниковые приборы используются в измерительной технике, автоматике, сигнализации, технике безопасности.

Уже только одних этих областей практического применения полупроводников было бы достаточно, чтобы обес-

\* Статья опубликована в газете: Правда, 1959, 1 марта.

печить мощный рост их производства. И действительно, даже в США, где средний годовой прирост продукции составляет 2—3 %, производство полупроводников выросло за прошлый год на 80 %, а у нас и того больше.

Но в нашей стране найдены и другие сферы применения полупроводников, которые должны получить большое значение. Это малая энергетика и холодильное дело, различные бытовые приспособления. Все эти задачи могут решаться полупроводниковыми термоэлементами.

Уже более 100 лет назад было установлено, что в замкнутой цепи из двух разных проводников появляется электрический ток, если вдоль них идет поток тепла, т. е. когда одни концы их теплее других. Термоэлементы превращают тепловую энергию в электрическую без машин, без сложных конструкций. А если через термоэлемент пропустить ток, то одни концы проводов нагреваются, а другие охлаждаются. Значит, можно получить тепло и холод простым пропусканием электрического тока.

И прямое получение электроэнергии, и прямое получение тепла и холода — заманчивые технические задачи — мечта инженерной мысли. Почему же электричество мы все еще получаем только с помощью паровых котлов, турбин и динамо-машин, а для охлаждения применяем сложные компрессорные устройства? Дело в том, что пока электротехника ограничивалась для этих целей одними металлами, из затраченной теплоты получалось едва 0.1—0.2 % электроэнергии, а при наибольших затратах электроэнергии достигалось охлаждение не более чем на 6°.

Полупроводники снимают эти ограничения, так как создаваемые ими термоэлектродвижущие силы в сотни раз больше, чем в металлах. Наши полупроводниковые термоэлементы могут теперь использовать уже до 8—9 % тепла и охлаждать на 60—80°.

В настоящее время и термоэлементы, и фотоэлементы обладают коэффициентами полезного действия, близкими к 10 %.

Это еще очень немного по сравнению с тепловыми двигателями. Но не надо забывать, что последние имеют за собою 150-летнюю историю развития, тогда как за полупроводниками всего два-три десятилетия. Не заглядывая далеко вперед, можно уже сейчас видеть, какие огромные возможности несут с собой термоэлементы даже при ныне достигнутых показателях их работы, но при условии, что будет организовано их массовое производство. Дело в том,

что не всегда решающим оказывается коэффициент полезного действия. Иногда преобладающее значение имеет простота устройства и легкость обслуживания. В этом случае полупроводники получают уже решающее преимущество. Приведу несколько примеров, хорошо проверенных практикой.

Тепла, получаемого от стекла керосиновой лампы, достаточно для того, чтобы помещенная над ним термобатарея питала радиоприемник. Электроэнергия получается попутно, без дополнительных затрат. Десятки тысяч таких ламп изготовлены нашей промышленностью, и с их помощью радиопередачи принимаются в самых отдаленных районах страны. Наши приборы получают теперь широкое распространение в арабских странах, в Индии и Индонезии, в Аргентине. Китайская Народная Республика сама производит такие приборы.

Изготовлены подогреваемые керогазом термобатареи, которые могут питать электроэнергией радиостанцию «Урожай». Сделаны печи с термобатареями, дающими до 1 кВт электроэнергии для освещения. Если бы нам удалось, например, покрыть термоэлементами трубы центрального отопления, то жильцы домов получили бы практически бесплатно немало электроэнергии для своих бытовых нужд и освещения.

Заманчивой мечтой всегда было получение электроэнергии непосредственно от Солнца, которое до появления атомных электростанций было единственным источником создания всех видов энергии на Земле — угля, нефти, торфа и дров, энергии рек и ветра. Элементарные подсчеты показывают, что с помощью термоэлементов мы могли бы получить электричество от Солнца при затратах меньших, чем требуют гидравлические электростанции.

Приводя в действие электронасосы, которые бы выкачивали воду из колодцев и орошали пустынные пески, полупроводниковые генераторы могут изменить всю экономику ныне безводных районов, создать условия для разведения в них животноводства.

Великий французский физик Жюлио-Кюри незадолго до своей смерти писал мне, что он, как и я, убежден, что важнейшее средство решения энергетической проблемы — широкое применение термоэлектрических батарей. Совсем недавно крупный американский ученый Скэнлоп сделал доклад в Академии наук в Вашингтоне о близких боль-

ших перспективах полупроводников со ссылкой на успехи, достигнутые в Советском Союзе по термоэлементам.

Другая область применения термоэлементов — создание тепла и холода. Мы давно знаем, как согреть различные предметы электрическим током. Но термоэлементы, сверх того, получают еще часть тепла, отнимая его у окружающих более холодных источников, например у водопроводной воды. В результате для получения определенного количества тепла с помощью термоэлементов требуется электроэнергия в 2—3 раза меньше, чем при нагреве электрическими плитками.

Для охлаждения у нас по сей день используются весьма сложные установки. Термоэлементы же позволяют создавать дешевые и простые домашние холодильники, установки для охлаждения летом воздуха в железнодорожных вагонах, в автомобилях. С помощью термоэлементов можно поддерживать зимой и летом постоянную температуру в помещениях.

Термоэлементы помогают решать такие задачи, как определение влажности воздуха при полетах на больших высотах, изучение опухолей, охлаждение крови при операциях, более эффективное наблюдение под микроскопом биологических объектов. Наконец, обширное и разнообразное применение могли бы найти полупроводниковые приборы в сельском хозяйстве.

В предстоящем семилетии к большой энергетике тепловых гидравлических и атомных электростанций прибавится малая энергетика — электричество будут получать без машин, что приведет к электрификации быта. Необходимо построить также первые солнечные электростанции.

Широкое распространение получают простые приемы управления температурой — подогрев, охлаждение, а также поддержание постоянной температуры подобно тому, как автоматически регулируется температура нашего тела.

Техника обогатится широким ассортиментом новых минеральных материалов, сверхчистыми полупроводниками и металлами. Их механические свойства еще слабо изучены, но исследовательскую работу в этом направлении надо интенсивно продолжать.

Многочисленные проблемы радиотехники будут решаться с ничтожными затратами электроэнергии, миниатюрными по своим размерам приборами, изготавливаемым

в большом количестве образцов. Для измерения и изучения различных явлений в производстве, в сельском хозяйстве, в нашем окружении мы получим, кроме радиоактивных изотопов, чрезвычайно чувствительные полупроводниковые приборы. Эти приборы будут предупреждать о возможных нарушениях и авариях, сигнализировать о любых изменениях в производственных процессах, автоматически регулировать любые процессы. Электротехника получит в свое распоряжение гибкие средства управления токами и их превращения.

Каков же уровень решения этих задач у нас сейчас, в начале семилетки? К сожалению, термоэлектрические приборы у нас только начинают переходить в производство, так же как и выпрямители переменного тока. Радиотехнические приборы производятся, но не удовлетворяют растущему спросу ни по количеству, ни по качеству, ни по стоимости. Измерительные приборы изготавливаются далеко не в достаточном количестве, особенно для сельского хозяйства.

Прежде всего необходимо увеличить масштабы исследовательской работы в области радиоэлектроники. Поиски новых творческих научных и инженерных решений предполагают непременно подъем уровня теоретической работы. Академия наук СССР и республиканские академии призваны объединить усилия ученых, инженеров и изобретателей, работающих по проблемам полупроводников, и обеспечить их искания прочной современной материальной базой.

Думается, что настало время для организации института полупроводниковой радиоэлектроники.

Организация массового изготовления термоэлементов выдвигает требования быстрого увеличения (в несколько раз) производства дефицитных в прошлом материалов — теллура, селена, висмута, сурьмы. Надо изыскать новые полупроводниковые материалы для изготовления более совершенных термоэлементов. Для того чтобы промышленности облегчить освоение производства приборов, разрабатываемых научно-исследовательскими институтами, при институтах необходимо организовать специальные конструкторские бюро как переходную ступень к промышленному производству.

Полупроводники, применяемые в радиоэлектронике для выпрямления переменных токов, в фотоэлементах, ставят особые, еще небывалые в технике требования хи-

мической чистоты материалов и препаратов. Если очистка материалов до сотых долей процента считалась раньше пределом, то теперь речь идет о миллионных долях, а иногда и миллиардных долях процента.

Советские ученые и инженеры-химики знают, как осуществлять эти требования, но для этого необходимы соответствующие условия производства — абсолютная чистота заводских помещений, строгая регулировка температур и т. п., не говоря уже об особом техническом оснащении. В полупроводниковых лабораториях и на заводах, изготовляющих, например, приборы из кремния, не допускается присутствие других материалов и металлов. Даже в воздухе этих помещений не должно быть следов никаких иных посторонних элементов, кроме кремния.

Следовательно, полупроводниковые лаборатории и заводы должны быть не только обеспечены соответствующими производственными площадями и хорошо оборудованы, но в них необходима как неперенное условие высокая производственная культура.

Полупроводники — дело чрезвычайно тонкое. Зато эта область науки и техники открывает новые пути в радиотехнике и энергетике, несет с собой небывалые возможности облегчить и украсить быт советского человека.

Развитие науки и техники полупроводников — важнейшее государственное дело, выдвигаемое семилетним планом. Советские ученые и инженеры приложат все свои силы, чтобы наша страна заняла достойное место в мировом соревновании с капитализмом и в этой многообещающей области человеческой деятельности.

## НОВЫЕ ПУТИ ИЗУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ\*

В прошлом году отмечалось десятилетие изобретения транзисторов, которые наложили свою печать на все учение о полупроводниках. Изучение действительно чистого германия, его аналогов и  $p-n$  переходов открыло широ-

\* Статья опубликована в журнале: Вестн. АН СССР, 1960, № 12, с. 11, т. е. спустя два месяца после кончины А. Ф. Иоффе (14 октября 1960 г.). Она представляет собой текст выступления А. Ф. Иоффе 29 августа 1960 г. на конференции по физике полупроводников в Чехословакии.