

Немаловажное значение приобретают и экситоны, введенные в науку еще одним моим покойным другом — Я. И. Френкелем.

Не сомневаюсь, что дальнейшее развитие этих вопросов расширит и углубит наше понимание полупроводников. Первые 30 лет их истории дали уже богатые плоды. Радиотехника и измерительная техника достигли в выпускаемых приборах небывалой тонкости и многообразия. Созданы основы автоматики и телеуправления, выпрямления токов и фотоэлементов. Все это было связано с использованием $p-n$ переходов. А далее уже открыты пути взаимных превращений гепловой, электрической, упругой, магнитной энергий. Осуществляется мечта овладения энергией Солнца. Это результаты дружной, настойчивой работы, в которой принимают участие ученые как США, Англии, Франции, ФРГ, так и СССР, Чехословакии, Польши и Китайской Народной Республики.

Наши конференции каждые два года подводят итоги тому, что сделано за это время, и объединяют усилия физиков. Но все, что мы сделали, — только начало длинного пути.

ПОЛУПРОВОДНИКИ И ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС*

Развитие техники выдвигает все новые задачи, для решения которых требуются новые материалы. Так, развитие авиации привело к разработке легких сплавов, прогресс ракетостроения — к созданию тугоплавких и огнестойких материалов и т. п.

Наше время отмечено пластмассами и полупроводниками, которые подняли новые пласты технической целины.

До недавнего времени электротехника знала медь и изоляторы, машиностроение — железо, радиотехника строилась на вакуумных лампах. Всего 30 лет назад на техническом горизонте появились полупроводники — сначала как выпрямители переменного тока и фотоэлементы. С тех пор они широкой волной вторглись в радиотехнику, автоматику и сигнализацию, измерительную технику.

* Статья опубликована в журнале: Вестн. АН СССР, 1960, № 11, с. 25—27. Это — первая посмертная публикация А. Ф. Иоффе.

Уже свыше 20 производств базируется на полупроводниках, и это только начало мощного движения. Недалеко время, когда полупроводниковые термоэлементы и фотоэлементы перестроят основы энергетики, холодильной и отопительной техники, изменят соотношение постоянного и переменного токов в электротехнике и передадут в наши руки тончайшие средства, заменяющие искусство человека.

В широких кругах представление о полупроводниках связано с радиотехникой и отчасти с выпрямителями. Масштабы их производства в одних только США превышают миллиард долларов. Следует отметить, что при общем замедлении роста производства в США строительство новых полупроводниковых лабораторий и производство приборов из полупроводников там из года в год почти удваивается. Высок уровень полупроводниковой промышленности в Японии, быстро развивается она и в Англии, а ФРГ занимает первое место по выпуску полупроводниковых выпрямителей.

Важность замены радиоламп полупроводниковыми диодами и триодами достаточно хорошо известна. Все знают, что в отличие от вакуумных ламп новые приборы потребляют во много раз меньше электроэнергии, они не требуют предварительного подогрева, не боятся сотрясений, обладают громадной прочностью и долговечностью, что их можно изготавливать небывало малого размера. Ван Арденсу в ГДР удалось ввести полупроводниковую радиостанцию в человеческий желудок, а недавно у нас демонстрировали искусственный протез, в котором движения управлялись биотоками живого человека. В Ленинграде в Агрофизическом институте миниатюрные измерители температуры и влажности в непосредственной близости от растения позволяют самому растению в зависимости от протекающих в нем процессов автоматически включать и выключать свет.

Выпрямители переменного тока из закиси меди и селена еще десятилетие назад приводили к энергетическим потерям порядка 30 %. Теперь, в эпоху германия и кремния, новые выпрямители снизили потери до 1—2 % и решают задачи электролиза алюминия и других металлов, применяются на электротранспорте и в ряде иных мест, где нужен постоянный ток.

Третья область применения полупроводников — фотоэлементы — уже сделалась широко известной благодаря

их использование в спутниках и космических кораблях, где солнечные лучи становятся единственным и неизменным источником энергии. 10—15 % этой энергии фотоэлементы превращают в электроэнергию. Однако стоимость кремниевых фотоэлементов еще настолько высока, что пока преждевременно говорить о больших масштабах превращения солнечной энергии в электрическую.

Зато недалеко уже возможность экономически выгодного получения электроэнергии за счет солнечных лучей при посредстве полупроводниковых термоэлементов, которые позволяют по-прежнему решать проблемы энергетики.

140 лет назад эстонский физик Зеебек открыл явление термоэлектричества, но неправильно его понял. В термоэлементах, как и в других тепловых двигателях, тепловой поток, идущий от горячего конца к холодному, частично переходит в другие виды энергии, в данном случае в электрическую. Отличительная черта термоэлементов, как и фотоэлементов, — выделение электроэнергии без промежуточных этапов, без паровых котлов и турбин, без вращающихся динамо-машин. Это громадное преимущество, и оно скоро было осознано. Но пока материалы для термоэлементов изготавливались из металлов, КПД достигал нескольких десятых долей процента, а создаваемое термоэлементами охлаждение не превышало 5—6°. Поэтому термоэлементы применялись лишь для измерения температур.

Уже в начале первой пятилетки советские физики первыми в мире поняли преимущество полупроводников и еще перед войной получили около 3 % КПД, а во время Отечественной войны изготавливали котелки с дном из термоэлементов, которые могли снабжать партизан электроэнергией для раций. После окончания войны котелки были заменены керосиновыми лампами с термобатареями, питающими радиоприемники. Таких термогенераторов было изготовлено несколько сот тысяч.

Учитывая исключительное значение энергетики, я несколько подробнее остановлюсь на термогенераторах. Решающим в них является температура источника тепла. Если она не превышает 300—400°, то твердые полупроводники из теллуристого висмута или свинца дают термоэлементы с КПД до 8%. При 700° нам, по-видимому, удастся получить КПД 12—15%. Источники тепла с температурой 1500—2000° позволяют говорить уже о дости-

жении кпд в 30—60 %. Такая возможность была указана нами еще 10 лет назад.

Термоэлементы с кпд от 8 до 15 % представляют большой интерес для получения электроэнергии от Солнца с целью использования ее в сельском хозяйстве и на транспорте.

Кпд порядка 50 % и выше можно будет получать либо из газообразных полупроводников (плазмы паров цезия), либо из вакуумных диодов, либо, наконец, из потоков ионизованных газов в магнитном поле. Каждый из этих путей может привести к цели, каждый требует преодоления своих трудностей. Опыт покажет, какой из них окажется наилучшим.

Термоэлементы находятся еще в стадии разработки и широко войдут в технику лишь в ближайшие годы. Но их можно уже сейчас использовать в холодильниках, нагревателях, термостатах. Таким приборам предстоит большое будущее, поскольку их показатели постоянно повышаются, а конструкция совершенствуется. Абсолютно реально их использование для охлаждения помещений летом и подогрева зимой, для регулировки температуры.

Я не упомянул о полупроводниках, концентрирующих магнитные и электрические поля (о ферритах и сегнетоэлектриках), измерительных приборах, стабилизаторах напряжения и многом другом, что характеризует современный этап техники и неосуществимо без полупроводников.

Попытаюсь резюмировать, что дают полупроводники и чего мы ждем от них.

1. Превращение почти без потерь энергии переменного тока в постоянный от долей ватта до тысяч киловатт.

2. Замена радиоламп с большой экономией электрической энергии при ничтожных габаритах, что сильно расширяет область применения радиотехники и электроники.

3. Значительное упрощение и улучшение средств сигнализации, телеуправления и автоматизации производственных процессов.

4. Упрощение электронно-счетных устройств и создание систем, решающих самые сложные задания промышленности и сельского хозяйства.

5. Совершенствование измерительной техники.

6. Стабилизация напряжений и токов и преобразование всех параметров электрических схем.

7. Разработка фотоэлементов, превращающих световую энергию в электрическую. Использование солнечной энер-

гии с помощью как термоэлементов, так и фотоэлементов.

8. Создание сегнетоэлектриков и ферритов, концентрирующих магнитные и электрические поля и превращающих электрическую и магнитную энергию в механическую, звуковую и другие виды энергии.

9. Разработка термоэлементов для прямого превращения тепловой энергии в электрическую с кпд порядка 10 %.

10. Разработка термоэлементов, способных превращать высокотемпературную тепловую энергию в электрическую с кпд от 40 до 60—70 %.

11. Использование потоков ионизированных газов в магнитном поле, создающих электроэнергию с высоким кпд.

12. Развитие холодильной техники и кондиционирование воздуха в помещениях.

Мы только еще начинаем изучать и использовать жидкие и газообразные полупроводники и лишь вступаем в область высоких температур. Не без основания поэтому мы ждем гораздо больших результатов, считая достигнутые успехи лишь первыми шагами на длительном пути. Уже разработанное нужно передать производству, а перспективы скорее и шире развить в научных и отраслевых институтах, создав для этого необходимые материальные условия.