

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

A. F. Joffe

Polovodiče v technice

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 1 (1956), No. 2, 183--186

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137086>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1956

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

POLOVODIČE V TECHNICE

Fysikální poznatky o polovodičích jakož i jejich používání při technických aplikacích jsou v počátečním stadiu. Den od dne však vzrůstá jejich význam. Není daleko doba, kdy polovodičová elektronika dosáhne takového rozvoje, že bude moci změnit celou tvář naší techniky. Již nyní je možno předpokládat, že značná část parních a chladicích strojů a generátorů, snad i topné soustavy budou nahrazeny polovodičovými thermoelementy, že v radiotechnice polovodiče nahradí vakuové elektronky a toto bude mít za následek značné zmenšení rozměrů a snížení ceny radiové aparatury spolu se snížením spotřeby elektrické energie. V průmyslu bude možno uskutečnit rozsáhlou automatisaci všech technických procesů a jejich řízení z jednoho centra. Denního světla bude možno použít k osvětlení za noci. Sluneční světlo bude dodávat elektrickou energii pro radiový příjem i pro bytovou spotřebu. Elektrickou energii bude možno vyrobit nejen v atomových elektrárnách, ale také přímo z radioaktivního záření. Takové jsou perspektivy použití polovodičů v technice.

Již dnes polovodiče značně mění aparaturu automatiky, telemechaniky a měřicí techniky. Způsobují velikou koncentraci vysokofrekvenční magnetické energie v t. zv. ferritech a elektrické energie v seignettových dielektrikách. Užití polovodičů umožnilo vytvořit nové typy velmi účinných generátorů a přijímačů ultrazvukových kmitů a též bohatou techniku nelineárních elementů. Tepelné odpory (thermistory) značně mění způsob měření a kontrolu teploty, fotoelementy umožňují změřit vyzařování ohřátého tělesa na vzdálenost desítek kilometrů.

Dosavadní výsledky plně ospravedlňují pozornost, která se polovodičům věnuje a ve které může s nimi soutěžit jen nukleární fyzika. Fyzika a technika polovodičů se rozvíjí velmi rychle a nové objevy následují jeden za druhým. Výše jen v přehledu uvedené použití polovodičů je výsledkem práce fyziků a techniků v podstatě za jedno desetiletí.

Polovodiče jako usměrňovače střídavého proudu

Již na počátku našeho století bylo polovodičů používáno jako detektorů pro radiový příjem. Krystaly, dodnes používané radioamatéry, byly značně vrtošivé. Za druhé světové války se začaly používat křemíkové a germaniové diody — usměrňovače, které jsou tak dokonalé, že zatlačí pravděpodobně všechny ostatní typy usměrňovačů do pozadí, jakmile se začnou hromadně vyrábět. Mají nepatrnou kapacitu a malé rozměry. Tyto vlastnosti umožnily jejich použití v aparaturách centimetrových vln. Proti elektronkám mají značné výhody — nepotřebují energii na žhavení vlákn, které je u elektronek nutné, nejsou citlivé k otřesům a poměrná jednoduchost zhotovení dává možnosti hromadné výroby. Dnes polovodiče pronikají do všech oblastí elektroniky, zvláště se jich používá při výrobě počítačích strojů, poněvadž dovolují zmenšit rozměry těchto strojů, snížit spotřebu elektrické energie a zvýšit spolehlivost jejich chodu. Vedle polovodičových diod se začaly používat také polovodičové triody jako zesilovače. Ještě před několika lety byla účinnost usměrňovačů střídavého proudu kolem 70—75 % při hustotě proudu $0,05 \text{ A/cm}^2$ a inverzním napětí 15 V. Dnes se dosahuje u pevných

usměrňovačů účinnosti kolem 98 %, hustota proudu činí stovky amperů a inverzní napětí stovky voltů.

Polovodiče jako usměrňovače se začaly používat koncem dvacátých let. Na počátku se používal kysličník měďný Cu_2O (kuproxydové usměrňovače), potom selen a siričik měďný Cu_2S a později křemík a germanium. Selenové usměrňovače stejně jako kuproxydové mají děrovou vodivost.

V posledních letech dosáhly velkého praktického významu usměrňovače z germania a křemíku. Zvláštními přímíseninami (tepelná difuze přímísenin do monokrystalu germania) se dosáhne přechodu od polovodiče s děrovou vodivostí k polovodiči s elektronovou vodivostí. V některých polovodičích, jako na příklad v křemíku, germaniu, siričiku olovnatém se zavedením jedné přímísenin dostane děrová vodivost, přímísením jiných elektronová vodivost. Je-li výchozí materiál bez jakýchkoli přímísenin, stačí mizivé množství přímísených atomů, které činí tisícinu nebo miliontinu procenta, aby se změnil charakter vodivosti. Na povrchu elektronového germania se podaří utvořit tenkou vrstvu děrového germania a tak jsou splněny podmínky nutné pro usměrnění.

Zavádění součástek z polovodičů do radiotechniky a elektroniky je novou etapou, ne méně významnou, než objev elektronky na počátku prvního desetiletí našeho století.

Fotoelektrické odpory a fotoelektrické články

Energii, potřebnou k uvedení elektronu do volného stavu nebo pro vytvoření díry, může dodat nejen tepelný pohyb, ale i jiné zdroje energie, na příklad elektromagnetem pohlcená energie světelného paprsku. Každé zvětšení počtu volných elektronů nebo děr se projeví zvýšením elektrické vodivosti a velikosti proudu.

Množství energie, předávané světlem jednotlivým elektronům, je dáno frekvencí světelných vln a nezávisí na jasu světelného paprsku. Zesílením světla roste počet elektronů, které je pohlcují, neroste však energie, kterou každý elektron dostane. Existují také polovodiče, u kterých postačí k uvedení elektronů do volného stavu energie řádu několika zlomků elektronvoltage a proto tyto polovodiče reagují na paprsky z infračervené části spektra. Takové paprsky vyzářují i slabě ohřáté předměty; jejich přítomnost může být zjištěna na vzdálenosti mnoha kilometrů podle nevelkého zvýšení proudu v obvodu s polovodičem. Abychom dostali signál potřebné síly, je nutno ovšem prvotní proud mnohokrát zesílit zesilovačem.

První fotoelektrické články byly zhotovovány z kysličníku měďného Cu_2O , později ze selenu. Elektromotorické síly, vznikající při silném osvětlení takových fotoelektrických článků, dosahovaly 1 V, velikost proudu byla několik set mikroampér na každý lumen světla. Sovětští fyzikové J. P. Maslakov a B. T. Kolomijec vytvořili velmi citlivý fotoelektrický článek siričiku thallia o citlivosti kolem 10 000 mikroampér na lumen a D. S. Gejchman vytvořil analogický fotoelektrický článek siričiku stříbra, který byl zdokonalen V. J. Laškarevem a vyrábí se v SSSR již seriově s typovým označením FESS.

Fotoelektrické články je možno uvažovat jako přístroje, které mění světelnou energii v energii elektrickou. Jejich účinnost je však malá. Poměr množství elektrické energie, kterou dodává fotoelektrický článek kysličníku měďného nebo selenu, k dopadající na něj světelné energii nepřevyšuje několik setin procenta. U fotoelektrických článků siričiku thallia dosahuje tento poměr 1 %. V poslední době se objevily fotoelektrické články křemíkové a germaniové se značně vysokou účinností. Uvážíme-li, že koeficient využití světla rostlinami, přeměňujícími část sl-

neční energie v energii tepelnou, nedosahuje ani 1 %, bude zvýšení účinnosti fotoelektrického článku z 0,1—1 % na 5—10 % znamenat nejen kvantitativní růst, ale i přechod v novou kvalitu — přeměnu zářivé sluneční energie v energii elektrickou.

Svým principem působení se fotoelektrickým článkům velmi blíží přístroje, které mění energii radioaktivního záření v energii elektrickou. Zde lze dosáhnout účinnost desítek procent. Výkon takových zařízení na jednotku povrchu není veliký, ale tato zařízení jsou schopná dodávat elektrickou energii léta, při čemž jejich výkon klesá jen postupně.

Thermoelementy

Thermoelektrický zjev objevil roku 1821 L e e b e c k. Zjistil, že uzavřený obvod, sestávající ze dvou různých polovodičů (thermoelementů) vychyluje magnetickou střílku, umístěnou nablízku, vždy, když mají místa styku kovů různou teplotu. Tento odklon střílky byl způsoben elektrickým proudem, který za tohoto stavu obvodem procházel. Sám Leebeck dlouho popíral toto vysvětlení a tvrdil, že odklon magnetky je způsoben zmagnetováním vodičů.

Thermoelement by bylo možno uvažovat jako thermoelektrický stroj, který bez jakéhokoli pohybu a mechanismů přeměňuje část tepelné energie, která ohřívá spájené ohřáté místo, v elektrickou energii; při tom se část tepla předává chladným spojem okolnímu prostředí. Současně však velký tepelný tok přechází od ohřátého spoje thermoelementu k chladnému spoji na úkor tepelné vodivosti a část elektrické energie, dodávané thermoelementem, se přemění v teplo uvnitř thermoelementu a nemůže být využita. Tyto ztráty jsou tak veliké, že účinnost thermoelementu z kovových vodičů nepřesahuje 0,5 %. U polovodičů je poměr mezi elektrickou energií vyvinutou thermoelementem a teplem, které vznikne průchodem proudem a ztratí se v důsledku tepelné vodivosti, daleko příznivější. Proto je u polovodičových thermoelementů naděje, že se podaří přímá přeměna tepelné energie v energii elektrickou. Tímto úkolem se v průběhu století zabývalo mnoho inženýrů. Více než sto let existovaly také thermoelementy, ale až do vytvoření polovodičových článků nebylo možno vážně o podobné přeměně energie uvažovat.

Prvým přiblížením k řešení tohoto úkolu jsou sovětské thermoelektrické generátory »TGK-3«, určené pro radiové přijímače. Trubice z thermoelementů, umístěná nad sklem petrolejové lampy, ochlazovaná zvenčí pokojovým vzduchem, dá vedle elektr. energie pro osvětlení také elektrickou energii, která postačí k žhavení anod elektronek bateriového radiového přijímače »Rodina«. Vyrábějí se i mnohem výkonnější thermoelektrické generátory pro napájení radiových vysílacích stanic, pracujících v sovětských sovchozech, kolchozech, a také thermoelektrické obvody, určené zároveň pro topení i svícení, pro nabíjení akumulátorů atd. Také radiofikace vzdálených oblastí bude značně usnadněna, až elektronky v radiových přijímačích budou nahrazeny polovodiči.

Druhá oblast použití polovodičových thermoelementů jsou chladičí zařízení. Roku 1838 ukázal petrohradský akademik L e n z svým půvabným pokusem, že na styku dvou různých vodičů elektrický proud způsobí buď pohlcení určitého množství tepla, nebo jeho vznik. Umístil na styku dvou kovů kapku vody a tuto zmrazil průchodem proudem.

Protéká-li proud thermoelektrickou baterií, jedna její strana se ochlazuje a druhá otepluje. Jestliže teplo na tomto konci odvedeme, na druhém konci se baterie ochladí. Maximální ochlazení, kterého je možno dosáhnout jedním thermo-

elementem, přesahuje -60°C . Tyto výsledky umožňují uvažovat na příklad o výrobě domácích chladniček mnohem prostější a výhodnější konstrukce, než jsou dosavadní. Také topení energií dodávanou thermoelementy (na příklad thermoelektrickou baterií) se jeví výhodnější ve srovnání s topením elektrickou energií, vyrobenou obvyklým způsobem. Thermoelektrická baterie má ještě další přednosti. Změní-li se totiž směr proudu, který baterií prochází, začnou vnější spájená místa vydávat teplo a spájená místa, která dříve ohřívala místnost, budou nyní tuto místnost ochlazovat, odnímajíce teplo okolí. V letních měsících může tedy thermoelektrická baterie ochlazovat okolní vzduch. Regulací intenzity a směru proudu v baterii je možno udržovat v místnosti stálou teplotu při libovolných změnách teploty venkovního vzduchu.

Thermistory

Thermistory jsou odpory, zhotovené z polovodičů, které mají velký teplotní koeficient odporu. Jejich odpor se s teplotou značně mění. Především této vlastnosti (vedle dalších předností jako je jednoduchost konstrukce, dlouhá doba života, mechanická stabilita a pod.) se využívá a thermistory jsou používány pro různá zařízení, především k měření teploty — zde se používají buď jako teploměry nebo termostaty, teplotní regulátory, kompensátory a pod. Jsou dále používány k měření tepelné vodivosti plynů, pro konstrukci vakuometrů, manometrů, v radio-technice jako speciální oscilátory, zesilovače a modulátory pro nízké kmitočty, pro měření energie velmi vysokých kmitočtů, jako detektory těchto kmitočtů v silnoproudé elektrotechnice, ke konstrukci regulátorů napětí, jednoduchých omezovačů přepětí v síti a časově zpožděných spínačů jakož i v elektroakustice (regulátory nebo omezovače hlasitosti).

Závěr

Theorie polovodičů vznikla na základě dříve vypracované teorie kovů, značně tuto teorii rozšířila a doplnila o řadu nových principiálních problémů. Veliká různorodost vlastností polovodičů a jevů, které v nich probíhají, obohatila nauku o pevných tělesech. Polovodiče, které dříve byly jakousi výjimkou mezi kovy a dielektriky, se staly nyní základem celé fyziky pevných těles. Nejdůležitější oblastí techniky, kde dochází polovodiče širokého použití, je dnes elektronika. Použití polovodičů odkrývá nové směry v řešení závažných technických problémů. Výše uvedené příklady zdaleka nevyčerpávají všechny oblasti techniky, kde se polovodičů používá. Je třeba také říci, že jsme teprve na počátku období, ve kterém polovodiče zasáhnou velmi pronikavě do řešení různých problémů vyskytujících se v dnešní technice. Další zkoumání polovodičů obohatí vědu i techniku a není nijak přemrštěné prohlásit, že naše epocha je charakterisována velkými technickými změnami, spojenými s rozvojem nukleární fyziky, za kterou ihned svým významem jdou polovodiče.

Referát z článku akademika A. Joffeho (*Radio*, č. 8, 1955, str. 4—7), krátce doplněný thermistory.

Stanislav Kubík