

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Stanislav Koc

Nepřímý vliv ionizujícího záření na polovodiče

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 9 (1964), No. 1, 14--17

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137882>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1964

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>

# NEPŘÍMÝ VLIV IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA POLOVODIČE

STANISLAV KOC, Praha

Před nedávnou dobou zabýval se v tomto časopise MATYÁŠ [1] tzv. radiačními poruchami v pevných látkách. Jak je známo, existují dva možné způsoby vzájemného působení vysoce energetického záření s pevnou látkou. Dopadající záření může mít za partnera při elementárním procesu (= srážce) buď jádro atomu mřížky, nebo jeho obalový elektron. V prvním případě při dostatečné energii záření vznikají radiační poruchy, o nichž bylo referováno právě ve článku [1]. V druhém případě se vytvářejí nové páry nositelů náboje (elektron-díra) v množství úměrném absorbované energii, a toho se běžně využívá např. v detektorech záření. Pro toto použití mluví i to, že zvýšený počet nových párů sleduje obvykle se zanedbatelně malou setrvačností (související s tzv. dobou života nadbytečných nositelů) změny v intenzitě záření. Naproti tomu radiační poruchy způsobují trvalé nebo alespoň dlouhodobé změny vlastností ozářené pevné látky.

Třetí, obecně velmi málo známý vliv vysoce energetického záření byl pozorován především při praktickém použití polovodičových součástek v prostředí se zvýšenou radiací [2]. Takové podmínky se vyskytly např. v umělých družicích země, které při průletu van Allenovými pásy jevily anomální vlastnosti nebo dočasně úplně vysadily z činnosti. V poměrně krátké době se podařilo vyvolat podobné změny i laboratorně, vypracovat model procesu a aplikovat dosažené výsledky např. při výběru součástek pro spojovací družice Telstar.

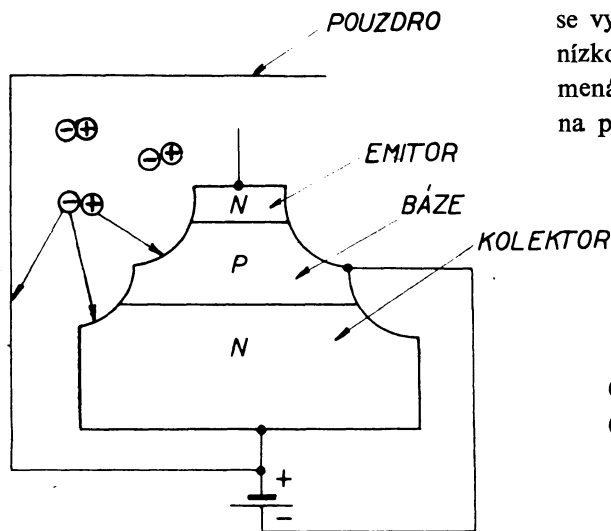
Uvažovaný jev se projevuje obzvláště výrazně u tranzistorů a má následující charakteristické rysy: kolektorový proud při ozáření postupně roste, přičemž záleží na dávkě, nikoliv na intenzitě záření. Ke zhoršení závěrného proudu kolektoru je třeba, aby ozařovaný tranzistor měl připojené pracovní napětí; ke změně nedojde, ozařujeme-li tranzistor bez připojeného napětí. Vzniklé změny nejsou trvalého rázu, zotavení součástky trvá vteřiny až dny. Kvantitativní a často dokonce i kvalitativní výsledky pozorování jevu na jednotlivých vzorcích — byť i z téže výrobní série — vykazují obrovský rozptyl. U přechodu  $p-n$  s předpětím v přímém směru se jev nevyskytuje anebo je velmi malý.

## MODEL

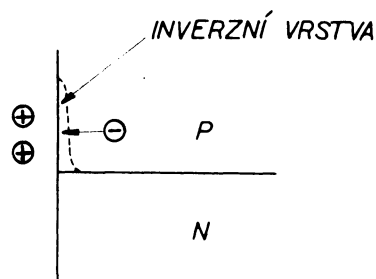
Vysvětlení jevu je založeno na představě, že plyn obklopující polovodič uvnitř ochranného pouzdra součástky se ionizuje a působí na jeho povrchové vlastnosti. Přiložené pracovní napětí polovodičové součástky, které tvoří jednu z nutných podmínek výskytu studovaného jevu, dělí ionizovaný plyn tak, že složka jedné polarity je přitahována např. u tranzistorů k bázi (a emiteru) a opačně nabitě částice ke kolek-

toru (viz obr. 1). Náboj iontů adsorbovaných na povrchu polovodiče se kompenzuje změnou koncentrace elektronů a děr v oblasti prostorového náboje uvnitř polovodiče. (Poznámka: Informace o základních pojmech a představách z oblasti povrchových jevů na polovodičích lze čerpat z práce [3].) Přitom vždy počet většinových nositelů náboje klesá, takže při dostatečném počtu adsorbovaných iontů může změnit povrchová vrstva polovodiče svůj typ vodivosti, tj. vznikne pak tzv. inverzní vrstva.

Podmínky pro vznik inverzní vrstvy se vytvoří především u materiálu s nízkou specifickou vodivostí, to znamená např. u difúzního tranzistoru na podkladové kolektorové oblasti.



Obr. 1.



Obr. 2.

Výskyt inverzní vrstvy silně ovlivňuje vlastnosti přechodu  $p-n$ . Jak vyplývá z obr. 2, vzrůstá především plocha přechodu, což se projeví růstem závěrného proudu. Mnohem významnější zvýšení závěrného proudu souvisí však s tím, že přítomností inverzní vrstvy nově vzniklé rozhraní oblastí  $p-n$  je v bezprostřední blízkosti povrchu polovodiče, kde jsou umístěny tzv. rychlé povrchové stavy. Nejzávažnější vlastností těchto stavů je schopnost působit jako generačně rekombinační centra. Vysvětleme si krátce podstatu této funkce: Přímá rekombinace termicky buzených párů elektron-díra ve většině polovodičových materiálů běžně užívaných v technické praxi je velmi nepravděpodobná a rekombinace je zprostředkovávána tzv. rekombinačními centry, které vykazují vysoké pravděpodobnosti pro zachycování elektronů i děr. Činnost těchto center se projevuje ve dvou směrech. O rekombinaci jsme již mluvili. Obsazení rekombinačních center je dáno rovnováhou s koncentracemi nositelů náboje v okolí. Změníme-li tyto koncentrace, např. injekcí nových nositelů, „generují“ tatáž centra nositele jednoho znaménka tak, aby vznikl nový rovnovážný stav. Dochází-li k takovému jevu v těsné blízkosti přechodu  $p-n$  s přiloženým předpětím v nepropustném směru, pozorujeme vysoký závěrný proud.

Adsorbované ionty mohou vyměňovat svůj náboj se stopami nečistot nebo s jinými náhodně se vyskytujícími látkami na povrchu polovodiče, což pak vede k dosti individuálnímu chování jednotlivých součástek, byť i z téže výrobní série. Ve prospěch celého tohoto modelu i posledního uvedeného detailu v chování ozařovaných polovodičových součástek mluví skutečnost, že součástky s evakuovaným pouzdrům (i když jinak byly naprosto stejně zpracovány) jsou vůči energetickému záření z hlediska nepřímého vlivu stálé.

## DŮSLEDKY PŘEDPOKLÁDANÉHO MODELU

Z jednoduché úvahy o předkládaném modelu vyplývá, že celkový náboj shromážděný na povrchu polovodiče závisí na dávce záření a nikoliv na intenzitě. To, že jev souvisí s ionizací, bylo potvrzeno pokusy s různými typy záření (protony,  $\gamma$ -paprsky), přičemž byly získány shodné závislosti.

O napětí přiloženém k součástce bylo řečeno, že jeho existence je pro vznik jevu podstatná. Podrobným studiem napěťových závislostí se ukázalo, že vyšší napětí nejen zlepšuje účinnost sběru iontů, nýbrž i ovlivňuje seskupení nábojů na povrchu. V tomto směru bylo by třeba interpretaci jevu dále zpřesnit.

Ve prospěch předloženého výkladu mluví i pokusy se zotavováním součástek po výskytu jevu. Zpětný proces je rychlejší bez přiloženého napětí, jež jinak udržuje ionty na povrchu, a hlavně při dalším ozáření bez elektrického pole, neboť nově vznikající ionty umožňují v tomto případě účinnější rekombinaci.

Některé součástky projevují navíc jakousi „paměť“, tj. jejich citlivost vůči druhému a dalšímu ozáření je vyšší. Zdá se, že ionizující záření vytváří nejprve na povrchu nové chemické látky schopné v další fázi snadné ionizace.

## PRAKTICKÉ VÝSLEDKY

Parametrem, u něhož se nejcitlivěji projevuje nepřímý vliv ionizujícího záření, je závěrný proud přechodu  $p$ - $n$ , jak již bylo řečeno. V propustném směru je citlivost vůči tomuto jevu asi o dva řády (míněno v dávce záření) nižší, neboť dochází k neutralizaci injektovanými nositeli. Tento jev by jistě bylo možno studovat i sledováním dalších povrchově citlivých veličin. Lze např. pozorovat také změny u zesilovacího koeficientu tranzistorů, avšak zde je vliv podstatně méně výrazný.

Uvedené výsledky byly získány na křemíkových difúzních tranzistorech a diodách, avšak kvalitativně shodné závislosti byly pozorovány i u slitinových tranzistorů s vazelinovou náplní pouzdra. U germaniových součástek se zdá, že popisovaný jev se projevuje daleko slaběji.

Z hlediska praxe je celý jev prostudován jen informativně. Na základě výsledků lze však provádět výběr typů nebo i jednotlivých exemplářů součástek pro ty účely, kdy

e nutno počítat s činností v prostředí se zářením. Pro některé případy bylo zjištěno, že lze relativní citlivost k nepřímému vlivu záření podstatně omezit krátkodobým velmi intenzivním ozářením.

#### Literatura

- [1] MATYÁŠ M.: PMFA 8 (1963), 210.
- [2] PECK D. S., BLAIR R. R., BROWN W. L., SMITS F. M.: Bell Syst. T. J. 42 (1963), 95.
- [3] КОС С.: Чс. час. fys. 11 (1961), 39.

#### **Několik podrobností o opravě družice Telstar za letu**

Družice Telstar, vybavená kromě běžných měřicích přístrojů ještě retranslačním zařízením pro přenos televize apod. mezi Amerikou a Evropou, byla vypuštěna v USA dne 10. 7. 1962. Koncem listopadu se začala zhoršovat funkce zařízení, které dekodovalo povelý ze Země, a dne 23. 11. přestalo toto zařízení vůbec fungovat. Pracovníci Bellových laboratoří, které družici postavili, usoudili, že příčinou je povrchová porucha některých tranzistorů v dekoderu způsobená ionizací plynů v jejich pouzdře intenzivním elektronovým zářením; vznik těchto poruch podporuje velké napětí na tranzistoru v závěrném směru. Laboratorními pokusy byly nalezeny nejchoulostivější tranzistory a byly vypracovány takové povelové kódy, které tyto tranzistory obcházejí. V podstatě šlo o nalezení vhodného tvaru signálu pro nulu. Dne 20. 12. se podařilo jeden z těchto kódů úspěšně přenést na družici a s jeho pomocí odpojit dekodéry od zdrojů napětí, čímž se jim umožnila regenerace, takže dne 4. 1. 1963 se mohl uskutečnit opět veřejný televizní přenos. Od 14. 2. se však opět objevovaly poruchy řídicí soustavy a od 21. 2. se nepodařilo ovládat družici ani původními, ani modifikovanými kódy.

*Ivan Soudek*

#### **Geotermická elektrárna**

byla postavena v Kalifornii v USA. Zemní vrty dodávají 108,7 t/h páry o tlaku 7 ata a teplotě 180°C, která pohání turbínu s generátorem o výkonu 12,5 MW.

*Ivan Soudek*

#### **Kolektorová čočka z plastické hmoty**

v hledáčku jednooké zrcadlovky se může vytvořit jako Fresnelova čočka; následkem toho má při přijatelných rozměrech dostatečně velkou lámavost, takže odpadne matování její čelní plochy a podstatně se zvýší světelnost hledáčkového obrazu. Dálkoměrné klíny je možno nahradit nebo doplnit soustřednými klinovitými drážkami, které umožňují přesné zaostřování na linie libovolného směru. Taková čočka, ačkoli je po všech stránkách dokonalejší, je levnější než skleněná.

*Ivan Soudek*

#### **Elektrické náramkové hodinky**

vyrábí UMF Ruhla v NDR. Pohání je miniaturní baterie, která stačí nejméně na rok chodu. Kotvu a setrvačnick nahrazuje elektrodynamický kmitavý systém, který má 18 000 kmitů za hodinu.

*Ivan Soudek*