

Fotonásobiče (1)

1. Úvod

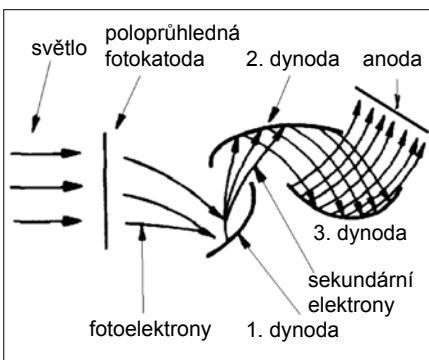
Fotonásobič – někdy též fotoelektrický násobič – je elektronka, která se uplatňuje hlavně při měření velmi malých hodnot světelných veličin, jako je jas, osvětlení nebo světelný tok. Přestože je to elektronka, tedy elektronická součástka pracující ve vakuu, nachází četná využití i v 21. století, kdy byla většina elektronek dávno nahrazena neevakuovanými součástkami.

Přednosti fotonásobičů vycházejí z jejich tří důležitých vlastností:

- velká plocha pro příjem světla a elektromagnetického záření z jeho blízkého okolí,
- velmi rychlá odezva a krátká doba průchodu signálu k výstupu,
- velký zisk a nízký šum.

V oboru záření od ultrafialového, přes viditelné (světlo) až k blízkému infračervenému konkurují fotonásobičům především fotodiody, zejména lavinové, a to jen tam, kde je velikost měřeného záření dostatečná a kde citlivá plocha detektoru nebo celkové rozměry mohou nebo musí být malé.

Funkční princip fotonásobiče je naznačen na obr. 1: světlo vniká do fotokatody nanesené většinou na vnitřním povrchu čelní skleněné desky elektronky a z jejího



Obr. 1. Funkční princip fotonásobiče

opačného povrchu orientovaného do vakuu uvolňuje elektrony (tzv. fotoelektrony). Tento proces je znám jako fotoelektrická emise [1]. Emitované fotoelektrony jsou urychleny elektrickým polem mezi fotokatodou a elektrodou, které se říká dynoda, a dopadají na ni s energií dostatečnou k tomu, aby z povrchu dynody byly uvolněny tzv. sekundární elektrony (sekundární elektronová emise). Dynoda je technologicky upravena tak, aby její emitující povrch měl koeficient sekundár-

ní emise (poměr emitovaných elektronů k dopadajícím) větší než jedna. Elektrony emitované z první dynody jsou urychlovány a vedeny na druhou dynodu a pak na další dynody, kde se proces sekundární emise postupně opakuje. Počet elektronů dopadajících z poslední dynody na anodu mnohonásobně převyšuje počet fotoelektronů. Všechny tyto procesy se odehrávají v evakuovaném prostoru – v baňce elektronky. Celkové napětí mezi fotokatodou a anodou je součtem napětí mezi jednotlivými stupni a jeho velikost bývá 1 až 3 kV.

Celkové zesílení fotonásobiče udává veličina M , pro niž platí za zjednodušujících předpokladů (všechny elektrony vystupující z předcházející dynody dopadnou na další a koeficient sekundární emise je u všech dynod stejně velký) vztah:

$$M = \delta^n \quad (1)$$

kde

δ je součinitel sekundární emise (poměr vystupujících elektronů k dopadajícím),

n celkový počet dynod.

Jako příklad uvažujme devítidynodový fotonásobič s běžnou velikostí $\delta = 4,5$. Celkové zesílení M bude přibližně 10^6 , což je jistě velká hodnota.

2. Uspořádání a druhy násobících systémů

Násobící systémy bývají uspořádány tak, aby počet sekundárních elektronů vystupujících z předcházející dynody a dopadajících na následující byl co největší a aby se při tom doba průletu jednotlivých elektronů od jednoho stupně k druhému lišila minimálně. Základním

Tab. 1. Některé druhy násobících soustav

Popis soustavy	Obrázek
Žaluziový systém pozůstává z dynod tvořených souborem malých destiček uspořádaných v úhlu 45° vzhledem k ose elektronky. Sklon těchto destiček je v následujícím stupni opačný. Před každou dynodou je jemná mřížka, jejímž účelem je zachycování nízkooenergetických sekundárních elektronů.	a)
Komůrkový systém s mřížkami používaný u fotonásobičů s menším průměrem baňky. Při větších anodových proudech u něho nastávají problémy s prostorovým nábojem.	b)
Lineární fokusovaný systém, navržený k účelné fokusaci elektronových drah, která zajišťuje rychlou odezvu a malý rozptyl doby průletu elektronů mezi stupni. Pro optimalizaci dopadu fotoelektronů na první dynodu je v systému speciální fokusující elektroda i tvar první dynody.	c)
Kruhově fokusující systém, který umožňuje konstrukci kompaktních malých fotonásobičů, u nichž není fotokatoda na čelní desce elektronky, ale na kovové (např. niklové) destičce.	d)

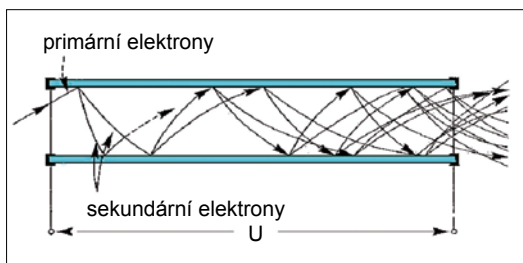
jednotlivé dynody jsou v obrázcích označeny D1 D2...D12

problémem konstrukcí násobících soustav je vytvoření takové konfigurace dynod, aby se dosáhlo vhodného průběhu elektrického pole pro urychlení a případnou fokusaci emitovaných sekundárních elektronů a aby se zároveň omezily nepříznivé podmínky pro dopad primárních elektronů. Ty jsou způsobovány tím, že v blízkosti emitujícího povrchu dynody má elektrické pole takový směr, aby zrychlilo emitované sekundární elektrony na další dynodu; právě to může komplikovat účinný dopad primárních elektronů. Je také třeba zamezit vznik záporného prostorového náboje způsobovaného shlukem elektronů, který by ovlivnil lineárnost mezi osvětlením fotokatody a výstupním proudem násobiče.

Dynody jsou vhodně tvarované a zpracované elektrody z plechu nebo sítěk, na kterých bývají nanášeny tenké vrstvy vykazující dostatečnou sekundární emisi. V elektronce bývá osm až čtrnáct i více dynod. Průměrná hodnota koeficientu sekundární emise na dynodách fotoelektrického násobiče δ se pohybuje od 3 do 5. Jako materiály se pro dynody používají různé slitiny, např. AgMg, CuBe a NiAl. Avšak teprve když je jejich povrch opatřen oxidy, jako jsou MgO, BeO a Al₂O₃, nebo alkalickými antimonidy, začnou vykazovat dostatečnou sekundární emisi. Zvláště nadějně se jeví nanášení GaP aktivovaného ceziem na povrchu dynod.

Tab. 2. Umístění fotokatod (hnědá barva) v různých druzích fotonásobičů

Typ	Charakteristika	Použití	Obrázek	
okružní	vhodný pro přímé i difuzní světlo, dostupný v různých průměrech	všeobecné účely		
redukovaný	elektrostaticky zmenšený průměr fotokatody pro zmenšení proudu za tmy	detekce laserového záření		
kupolovitý	vhodný pro difuzní světlo	plošné soubory fotonásobičů		
hexagonální	umožňuje těsné plošné uspořádání celého souboru fotonásobičů	plošné soubory fotonásobičů		
polokulovitý	detekce difuzního světla	plošné soubory fotonásobičů		
2π	fotokatoda je také na boku baňky	širokoúhlá detekce		
boční okénko	přizpůsobení k výstupním štěrbinám optických zařízení	fotometry, spektrofotometry		



Obr. 2. Kanálový násobič (U – napětí pro vytvoření urychlujícího elektrického pole uvnitř kanálku)

Pro energie primárních elektronů 400 až 800 eV u nich nabývá koeficient sekundární emise δ hodnot 20 až 50.

Fotonásobiče se dělí na *fokusované* – podle toho, zda jsou či nejsou použita elektrická nebo magnetická pole k fokusaci elektronů na následující elektrodu.

Některé příklady různých typů násobících soustav, jak jsou uvedeny např. v katalogu britské firmy Electron Tubes, jsou v tab. 1 [6].

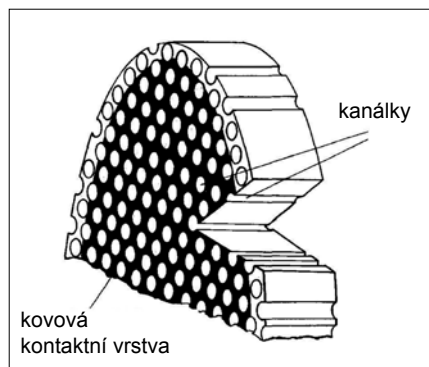
Zvláštní druh násobící součástky představuje takzvaný *kanálek* (obr. 2). Na vnitřním povrchu skleněné trubičky (kanálku) je tenká vrstva PbO nebo v případě kanálkové destičky CsI nebo CuI, která zabezpečuje dostatečně velký koeficient sekundární emise a připojení dostatečně velkého

urychlovacího napětí podél vnitřní stěny kanálku.

Plošná soustava velkého množství kanálků tvoří kanálkovou destičku, která je znázorněna na obr. 3. Kanálek v destičce má vnější průměr asi 10 μ m a délku přibližně 0,5 mm.

3. Různé typy fotonásobičů

Na trhu jsou nabízeny desítky různých verzí fotonásobičů. Jedním z hrubých dělítek je tvar nosiče fotokatody



Obr. 3. Uspořádání kanálkové destičky (na obou površích destičky jsou tenké kovové vrstvy pro přívod urychlujícího napětí)

dy a jeho umístění. Ve většině případů je fotokatoda nanášena na vnitřním povrchu skleněného vstupního okénka, které tvoří čelní desku elektronky. U těch fotonásobičů, kde vstupuje záření do elektronky boční stěnou, jako je tomu u typu 2 π v tab. 2, je fotokatoda vytvořena na tenké kovové destičce. Fotokatody jsou tenké polovodičové polopřůhledné vrstvy s vodivostí typu P o tloušťce řádově desítek nanometrů. Vhodnými materiály jsou některé alkalické antimonidy a teluridy nebo GaAs a InGaAs aktivované ceziem, nejstarší používaný materiál má složení Ag-O-Cs. Výroba fotokatody je velmi náročná a probíhá ve vysokém vakuu obvykle přímo v baňce elektronky. Zvláštním druhem fotokatod jsou tzv. fotokatody NEA. Jsou to některé polovodičové vrstvy typu P se speciální úpravou povrchu, která u nich způsobí negativní elektronovou afinitu. Tím se podstatně zmenší jejich fotoelektrická výstupní práce a dosáhne se velké citlivosti [14].

3.1 Poloha fotokatody ve fotonásobiči

Různé tvary fotonásobičů, určené polohou fotokatody, přehledně uvádí např. katalog britské firmy Electron Tubes [6] (viz tab. 2).

(pokračování v příštím čísle)