PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:
304 599
(13) Druh dokumentu: **B6**
(51) Int. Cl.:
H01J 37/28 (2006.01)

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2002-2223**
(22) Přihlášeno: **29.11.2000**
(30) Právo přednosti:
29.11.1999 DE 19957422
(40) Zveřejněno: **13.11.2002**
(Věstník č. 11/2002)
(47) Uděleno: **18.06.2014**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **30.07.2014**
(Věstník č. 31/2014)
(86) PCT číslo: **PCT/EP2000/011948**
(87) PCT číslo zveřejnění: **WO 2001/041180**

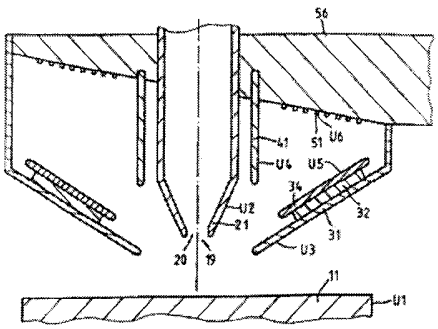
(56) Relevantní dokumenty:

JP 2273445 A; WO 9927559 A; WO 9840906 A.

(73) Majitel patentu:
LEO ELEKTRONENMIKROSKOPIE GMBH, Oberkochen, DE

(72) Původce:
Erik Essers, Karlsruhe, DE

(74) Zástupce:
JUDr. Jan Matějka, Národní 32, 110 00 Praha



(54) Název vynálezu:
Rastrovací elektronový mikroskop a detektor sekundárních elektronů v rastrovacím elektronovém mikroskopu

(57) Anotace:
Vynález se týká rastrovacího elektronového mikroskopu pro provoz s plynem ve zkušební komoře, s trubkou pro vedení paprsku pro primární elektrony, se zkušební komorou, s držákem vzorku (11) ve zkušební komoře, se stupňovou clonou (21) tlaku, kterou vstupují primární elektrony do zkušební komory, a s první elektrodou (50, 51, 52) mající vůči držáku vzorku (11) a stupňové cloně (21) tlaku pozitivní potenciál k urychlení sekundárních elektronů vystupujících ze vzorku (11), drženého držákem vzorku (11). Tato první elektroda (50, 51, 52) je uspořádána mimo trubku pro vedení paprsku, a s alespoň jednou druhou elektrodou (30, 31), jejíž konec přivrácený k držáku vzorku (11) je od držáku vzorku (11) vzdálen méně než první elektroda (50, 51, 52) a má potenciál (U3), který leží mezi potenciálem (U6, U7a, U7b, U8) první elektrody (50, 51, 52) a potenciálem (U1) vzorku (11) nebo má potenciál (U1) vzorku (11). Druhá elektroda (30, 31) obklopuje první elektrodu (50, 51, 52) v podstatě ve tvaru trychtýře se špičkou trychtýře směrem ke vzorku (11). Vynález se dále týká detektoru sekundárních elektronů v takovém rastrovacím elektronovém mikroskopu.

CZ 304599 B6

Rastrovací elektronový mikroskop a detektor sekundárních elektronů v rastrovacím elektronovém mikroskopu

Oblast techniky

Vynález se týká rastrovacího elektronového mikroskopu, zvláště rastrovacího elektronového mikroskopu s proměnným tlakem. Rastrovacím elektronovým mikroskopem s proměnným tlakem nebo HPSEM (scanning electron microskope) je třeba rozumět rastrovací elektronový mikroskop, u kterého je možný provoz s plynem ve zkušební komoře při tlaku nejméně 0,1 Pa. Vynález se dále týká detektoru sekundárních elektronů v rastrovacím elektronovém mikroskopu.

Dosavadní stav techniky

V rastrovacím elektronovém mikroskopu (HPSEM) se jako detektoru obyčejně používá kolektorové elektrody s dále zařazeným operátorovým zesilovačem nebo detektoru scintilace plynu. Později uvedený se skládá ze světlovodiče s dále zařazeným fotonásobičem. V obou případech se potřebuje sekundární elektronová kaskáda v plynu. Uspořádání, která využívají sekundární elektronovou kaskádu, jsou popsána například v US 4785182, US 5396067, US 5677531 nebo v JP 2236939, JP 2267846 a JP 2273445 a rovněž v článku G. Danilatose v časopisu Advances in Electronics and Electron Physics, svazek 78, str. 1 až 102, 1990. V souvislosti s kaskádou sekundárních elektronů vznikají následující problémy:

1. Činitel zesílení kaskády sekundárních elektronů je omezen průrazy.

2. V dnešních rastrovacích elektronových mikroskopech (HPSEM) má dolní stupňová clona tlaku podobný potenciál jako kolektorová elektroda, tj. elektroda na konci kaskády sekundárních elektronů. Proto musí být kaskáda sekundárních elektronů z největší části v plynu na stejné cestě, podél které dochází (v obráceném směru) také k rozptylu primárních elektronů. Proto se tlak a cesta v plynu nemohou volit volně, nýbrž jejich součin musí být dostatečně velký, aby vznikl dostatečný zesilovací činitel kaskády sekundárních elektronů i tehdy, když tlak nebo dráha v plynu by jinak vlastně často vůbec nemusely být tak velké. Za těchto podmínek se musí tedy předpokládat zbytečně silný rozptyl primárních elektronů. Tato nevýhoda vzniká také při detekci v trubce vedoucí paprsek.

3. V rastrovacích elektronových mikroskopech (HPSEM) s kolektorovou elektrodou a dále zařazeným operačním zesilovačem nejsou možné žádné vysoké rastrovací rychlosti. Při malých intenzitách proudů paprsků nejsou vůbec možné normální rastrovací rychlosti, jaké jsou potřebné pro vyrovnání. Příčina toho spočívá v tom, že časová konstanta operátorového zesilovače při příliš velkém zesilovacím činiteli operátorového zesilovače je pro tuto rastrovací rychlost příliš velká.

4. Jak u rastrovacích elektronových mikroskopů (HPSEM) s detektory scintilace plynu, tak také u rastrovacích elektronových mikroskopů (HPSEM) s kolektorovou elektrodou není účinnost detekčního systému zcela uspokojivá. Zhoršený odstup signálu od šumu a větší poškození preparátů paprsky jsou následky, na kterých selhává provedení některých zadání úloh.

Podstata vynálezu

Úkolem předloženého vynálezu je poskytnout zlepšený detektor rastrovacího elektronového mikroskopu (HPSEM), u kterého je odstraněna alespoň část výše uvedených problémů. Dále je cílem vynálezu vytvořit rastrovací elektronový mikroskop (HPSEM) s takovým zlepšeným detektorem.

Tento úkol je podle první formy provedení vyřešen rastrovacím elektronovým mikroskopem pro provoz s plynem ve zkušební komoře, s trubkou pro vedení paprsku pro primární elektrony, se zkušební komorou, s držákem vzorku ve zkušební komoře, se stupňovou clonou tlaku, kterou vstupují primární elektrony do zkušební komory, a s první elektrodou mající vůči držáku vzorku a stupňové cloně tlaku pozitivní potenciál k urychlení sekundárních elektronů vystupujících ze vzorku, drženého držákem vzorku, přičemž tato první elektroda je uspořádána mimo trubku pro vedení paprsku, a s alespoň jednou druhou elektrodou, jejíž konec přivrácený k držáku vzorku je od držáku vzorku vzdálen méně než první elektroda a má potenciál, který leží mezi potenciálem první elektrody a potenciálem vzorku nebo má potenciál vzorku, podle vynálezu, jehož podstatou je, že druhá elektroda obklopuje první elektrodu v podstatě ve tvaru trychtýře se špičkou trychtýře směrem ke vzorku.

Tento úkol je podle druhé formy provedení vyřešen rastrovacím elektronovým mikroskopem pro provoz s plynem ve zkušební komoře, s trubkou pro vedení paprsku pro primární elektrony, se zkušební komorou, s držákem vzorku ve zkušební komoře, se stupňovou clonou tlaku, kterou vstupují primární elektrony do zkušební komory, a s první elektrodou uspořádanou mimo trubku pro vedení paprsku, podle vynálezu, jehož podstatou je, že první elektroda je elektricky slabě vodivá a má alespoň dvě kontaktování, a že konec první elektrody přivrácený k držáku vzorku má elektrický potenciál, který leží mezi potenciálem kontaktování s nejvyšším potenciálem a potenciálem vzorku nebo má potenciál vzorku, přičemž kontaktování s nejvyšším potenciálem má vůči držáku vzorku a stupňové cloně tlaku pozitivní potenciál.

Rastrovací elektronový mikroskop podle vynálezu má stejně jako známé rastrovací elektronové mikroskopy (HPSEM) trubku pro vedení paprsku primárních elektronů s poslední stupňovou clonu tlaku na straně vzorku, kterou procházejí primární elektrony do zkušební komory, zkušební komoru, držák vzorku ve zkušební komoře a první elektrodu, která má proti držáku vzorku a poslední stupňové cloně tlaku trubky vedení paprsku pozitivní potenciál. Potenciální rozdíl mezi vzorkem a první elektrodou slouží k urychlení sekundárních elektronů, které jsou vybaveny primárními elektrony ze vzorku drženého držákem vzorku, přičemž nárazy těchto urychlených sekundárních elektronů s obklopujícími molekulami plynu se vytvoří známá kaskáda sekundárních elektronů, která vede k zesílení proudu sekundárních elektronů

Jako trubka pro vedení paprsku ve smyslu této přihlášky vynálezu se přitom označuje oblast mezi zdrojem elektronů a poslední stupňovou clonou tlaku.

V první formě provedení vynálezu je upravena alespoň jedna druhá elektroda, jejíž konec upravený k držáku vzorku je od držáku vzorku vzdálen méně než první elektroda. Tato druhá elektroda má potenciál, který je mezi potenciálem první elektrody a potenciálem vzorku nebo má potenciál vzorku.

V druhé formě provedení vynálezu je upravena jediná elektroda s menší elektrickou vodivostí, podél které se na základě dvou rozdílných přiložených potenciálů nastaví potenciální rozdíl jako u odporového řetězce. Tímto potenciálním rozdílem vznikne elektroda s proměnným potenciálem podél jejího povrchu.

Pomocí druhé elektrody nebo potenciálu měnícího se podél elektrody se rozložení potenciálu mezi držákem vzorku a první elektrodou ovlivní tak, že vznikne zvětšený objem s větší, ale podkritickou hustotou ionizace.

Kaskádou sekundárních elektronů se v plynu vytvoří prostorově proměnná hustota ionizace, která je závislá na geometrii a nabití potenciálem existujících elektrod. Když je v plynu lokálně příliš velká hustota ionizace, vzniknou průrazy. Kromě elektronů vznikají také fotony scintilace plynu hlavně v oblasti velké hustoty ionizace.

Funkční princip, který je základem vynálezu, spočívá v tom, že se vytvoří zvětšený objem s větší, ale podkritickou hustotou ionizace, aby tím vznikl větší zesilovací činitel sekundárních elektronů nebo silnější fotonový signál. Jako podkritická se označuje hustota ionizace, při které ještě nevznikají žádné průrazy.

Zvětšená oblast s větší, ale podkritickou hustotou ionizace je u vynálezu ohraničena elektrodami, takže tato oblast je oproti zbytku zkušební komory ohraničenou oblastí. To plyne z toho, že tyto elektrody ohraničující tuto oblast současně slouží k vytvoření zvětšené oblasti s větší, ale podkritickou hustotou ionizace.

Část oblasti s větší hustotou ionizace může při tom také ležet mimo ohraničenou oblast, na příklad ve tvaru kaskády sekundárních elektronů vstupující do ohraničené oblasti. Přitom by však měla celkem přesto nejméně polovina objemu s větší hustotou ionizace ležet v oblasti, která je elektrodami ohraničena od zbytku zkušební komory.

Elektrodami ohraničená oblast leží mimo trubkou pro vedení paprsku uzavřenou oblast, která je ohraničena poslední stupňovou clonou tlaku od zkušební komory. To má dvě výhody proti uspořádání, u kterého zvětšená oblast s větší, ale podkritickou hustotou ionizace leží nad poslední stupňovou clonou tlaku, tedy v trubce pro vedení paprsku. Za prvé nemusí být učiněna žádná opatření, aby se sekundární elektrony nedostaly stupňovou clonou tlaku, což je problematické zvlášť při velkých pracovních vzdálenostech a při malých průměrech otvoru poslední stupňové clony tlaku. Zejména ale za druhé nemusí být nad poslední stupňovou clonou tlaku, tedy v trubce vedení paprsku, brán v úvahu žádný velký rozptyl primárních elektronů, což je nevyhnutelně případ, když se má v této oblasti dosáhnout velké hustoty ionizace kaskádou sekundárních elektronů. Dráha v plynu s velkým rozptylem primárních elektronů nad poslední stupňovou clonou tlaku v protikladu k dráze v plynu pod poslední stupňovou clonou tlaku nemůže být zkrácena menší pracovní vzdáleností. Uspořádáním oblasti ohraničené elektrodou mimo trubku vedení paprsku je u vynálezu také možná práce se střední a menší primární energií s tím spojenými známými výhodami.

Myšlenka vynálezu zvětšené oblasti s větší, ale podkritickou hustotou ionizace, která je v oblasti ohraničené elektrodami vůči zkušební komoře mimo trubku pro vedení paprsku, může být realizována různými způsoby:

V jedné formě provedení je objem s větší, ale podkritickou hustotou ionizace zvětšen kolmo ke směru šíření kaskády sekundárních elektronů. V alternativní formě provedení je objem s větší, ale podkritickou hustotou ionizace zvětšen ve směru šíření kaskády sekundárních elektronů. Dále jsou možné také smíšené tvary, u kterých objem s větší, ale podkritickou hustotou ionizace je zvětšen jak kolmo, tak také ve směru šíření kaskády sekundárních elektronů.

U známých rastrovacích elektronových mikroskopů (HPSEM) s kolektorovou elektrodou dosahuje hustota ionizace blízko pod otvorem dolní stupňové clony tlaku své maximální hodnoty. U známých rastrovacích elektronových mikroskopů (HPSEM) s detektory scintilace plynu dosahuje hustota ionizace své maximální hodnoty blízko před pozitivní elektrodou na konci kaskády sekundárních elektronů. Vhodným nabitím potenciálem přídavných elektrod se podle vynálezu dosáhne toho, že kaskáda sekundárních elektronů se rozdělí na větší objem, takže celkově se dosáhne větších zesilovacích činitelů při současně podkritické hustotě ionizace. S detektory podle vynálezu rastrovacích elektronových mikroskopů (HPSEM) a uspořádáním podle vynálezu se proto může dosáhnout podstatně většího zesilovacího činitele kaskády sekundárních elektronů a jí vytvořených fotonů, protože kaskáda sekundárních elektronů je druhou elektrodou vytvořena tak, že oblast s největší hustotou ionizace zaujímá mnohem větší objem. Tím se může při stejné maximální hustotě ionizace dosáhnout mnohem většího zesilovacího činitele kaskády sekundárních elektronů a jí vytvořených fotonů.

Druhá výše uvedená nevýhoda se u detektoru podle vynálezu obejde, protože mezi oblastí blízko pod dolní stupňovou clonou tlaku a elektrodou na konci kaskády sekundárních elektronů je možná kaskáda sekundárních elektronů s velkým činitelem zesílení a proto v oblasti blízko pod dolní stupňovou clonou tlaku se již nepotřebuje dosáhnout žádného většího zesilovacího činitele kaskády sekundárních elektronů.

Třetí výše uvedený problém se u detektoru podle vynálezu řeší na základě zvětšeného objemu s větší hustotou ionizace mnohem větším zesilovacím činitelem kaskády sekundárního elektronů. Tím je nutné jen ještě malé zesílení dále zařazeným operačním zesilovačem.

U rastrovacích elektronových mikroskopů (HPSEM) s detektory scintilace plynu se může větším zesilovacím činitelem kaskády sekundárních elektronů zlepšit účinnost detekce. Tak se vynález velmi dobře hodí také pro rastrovací elektronové mikroskopy (HPSEM) s detektory scintilace plynu.

U dalšího výhodného provedení vynálezu probíhá druhá elektroda nebo slabě vodivá elektroda od první elektrody skloněná ve směru k držáku vzorku a tvoří na svém konci ve směru k držáku vzorku otvor pro průnik pole vytvořených první elektrodou nebo pole pomocných elektrod, které vede sekundární elektrony k první elektrodě.

Výhodným způsobem jsou dodatečně upraveny další přídavné pomocné elektrody ke zlepšení vedení sekundárních elektronů otvorem definovaným koncem druhé elektrody.

Dále jsou výhodným způsobem vytvořeny první a druhá elektroda rotačně symetricky k optické ose rastrovacího elektronového mikroskopu, tj. k trubce pro vedení paprsku. K tomu může první elektroda obklopovat trubku pro vedení paprsku tvarem prstence a druhá elektroda jako první elektroda může být vytvořena jako obklopující, k držáku vzorku kuželově vybíhající elektroda ve tvaru trychtýře. Otvorem druhé elektrody upraveným směrem ke vzorku dochází k průniku pole, které vede sekundární elektrony k první elektrodě. Rotačně symetrickým uspořádáním elektrod se zmenší negativní vlivy na paprsek primárních elektronů.

Jedna z dalších pomocných elektrod může být vytvořena jako válcová elektroda ve tvaru trubky obklopující trubku pro vedení paprsku.

První a druhá elektroda a/nebo další pomocné elektrody mohou být vytvořeny jako jediná elektroda s malou elektrickou vodivostí, například jako izolátor se slabě elektricky vodivou vrstvou. Místo tenké vrstvy je na izolátoru také možné vytvořit masivní elektrody z materiálu s malou elektrickou vodivostí. Na základě malé elektrické vodivosti elektrody se potom nastaví podél elektrody ve smyslu zapojení napěťového děliče místně rozdílný potenciál. Konec této slabě vodivé elektrody upravený směrem ke vzorku, popřípadě ke kontaktování na jejím konci, odpovídá druhé elektrodě v příkladu provedení oddělené první a druhé elektrody. Toto místo, tj. kontaktování slabě vodivé elektrody s nejvyšším potenciálem, odpovídá první elektrodě v příkladu provedení s oddělenou první a druhou elektrodou. Analogicky k příkladu provedení s oddělenými elektrodami má proto konec slabě vodivé elektrody upravený směrem ke vzorku nižší potenciál než místo slabě vodivé elektrody s nejvyšším potenciálem.

V dalším příkladu provedení vynálezu je slabě vodivá elektroda uvnitř dutého prostoru otevřeného na jedné straně ve světlovodiči. Místo kontaktování této slabě vodivé elektrody s nejvyšším potenciálem odpovídá ve své funkci zase první elektrodě. Nalézá se v dutém prostoru světlovodiče ve velké vzdálenosti od vstupního otvoru na straně vzorku. Kontaktování slabě vodivé vrstvy v blízkosti otvoru na straně vzorku dutého prostoru odpovídá ve své funkci druhé elektrodě ve tvaru provedení s oddělenou první a druhou elektrodou. Kontaktování slabě vodivé vrstvy v blízkosti vstupního otvoru na straně vzorku dutého prostoru může být následováno elektrodou, která je nanesena na vnějších plochách světlovodiče a slouží tam také jako odrazový povlak světlovodiče.

Dutý prostor může být vytvořen ve tvaru kužele nebo jehlanu, aby se zlepšilo vedení světla ve světlovodiči k detektoru světla.

Existují však ještě jiné možné tvary dutého prostoru, například válcový vývrt.

Dále je možné, aby se vytvořila slabě vodivá elektroda v oblasti blízko vstupního otvoru s menší tloušťkou vrstvy než v oblasti vzdálené od vstupního otvoru. Na základě z toho plynoucí malé vodivosti v blízkosti vstupního otvoru plyne v této oblasti větší síla pole než v oblasti vzdálené od vstupního otvoru.

První elektroda nebo jí odpovídající kontaktování se rozprostírá v dutém prostoru světlovodiče přednostně alespoň na dvou proti sobě ležících stranách dutého prostoru na rozšířené vzdálenosti v dutém prostoru, aby se kaskáda sekundárních elektronů rozdělila na co největší objem.

Ve formě provedení vynálezu, ve které je zvětšen objem s větší, ale podkritickou hustotou ionizace ve směru šíření kaskády sekundárních elektronů, se rozprostírá více elektrod nebo jedna jediná jen slabě elektricky vodivá elektroda podél protáhlého dutého prostoru nebo meziprostoru ve světlovodiči nebo sousedí se světlovodičem. Protáhlým dutým prostorem nebo meziprostorem je třeba chápat dutý prostor nebo meziprostor, jejichž délka je větší než dvojnásobek největšího průměru kružnice, která se dá vepsat do průřezu dutého prostoru nebo meziprostoru. V oblasti dutého prostoru na vstupní straně jsou elektrody nabity takovým potenciálem, že se pro sekundární elektrony vytvoří větší zesilovací činitel. Alternativně mohou být upraveny před vstupním otvorem také přídavné elektrody a mohou být nabity takovým potenciálem, že v této oblasti na straně vstupu vznikne pro sekundární elektrony větší zesilovací činitel. V této oblasti na straně vstupu se potom napojuje druhá oblast dutého prostoru nebo meziprostoru, ve kterém jsou elektrody slabě nabity rozdílnými potenciály tak, že v této druhé oblasti vyplyne pro sekundární elektrony zřetelně zmenšený zesilovací činitel, zvláště mezi 0,2 až 5 násobek, ideálně 1.

Tato druhá oblast je protáhlou oblastí. V ní nevzniká sice žádné nebo žádné silné zesílení proudu sekundárních elektronů, ale je zajištěno to, aby dále zůstala zachována velká, ale podkritická hustota ionizace. Přitom se kaskáda sekundárních elektronů nárazy v plynu a difúzí sekundárních elektronů do stěn meziprostoru stále zeslabuje, ale současně se přilehlým polem zesiluje. Velkou hustotou ionizace v této oblasti objemu vzniká silná scintilace plynu, která se dá dokázat detektorem světla uspořádaným na konci světlovodiče. Také toto uspořádání detektoru umožňuje zvětšeným objemem s podkritickou hustotou ionizace podstatné zlepšení citlivosti důkazu.

Další provedení spočívá v kombinaci s Everhardt–Thornleyovým detektorem, ve které je čelní plocha stejně již existujícího světlovodiče vytvořena jako scintilátor a je ke kontaktování opatřena tenkou vodivou vrstvou, která se dá nabít vysokým napětím. Pomocí další dopředu umístěné mřížkové elektrody, která toto vysoké napětí prakticky odstíní vůči paprsku primárních elektronů, může být uspořádání detektoru použito také k detekci elektronů při vakuovém provozu elektronového mikroskopu.

Zatímco u dnes běžných rastrovacích elektronových mikroskopů (HPSEM) s kolektorovou elektrodou je v oblasti otvoru dolní stupňové clony tlaku často velká síla elektrického pole, které vede k silnému ohybu elektrického pole uvnitř otvoru stupňové clony tlaku a negativně ovlivňuje primární elektrony a vede ke zhoršení rozlišení, je u detektorů podle vynálezu v oblasti otvoru dolní stupňové clony tlaku potřebná jen slabší síla elektrického pole, takže tento nevýhodný účinek se zmenší.

Další forma provedení spočívá v tom, že osa a/nebo střední rovina dutého prostoru nebo meziprostoru není přímá, popřípadě rovná, ale zakřivená. Toto má za prvé tu výhodu, že mnohé částice, které mohou podporovat průraz, například Roentgenova kvanta, se nemohou rozšířit v dutém

prostoru daleko. Za druhé to má tu výhodu, že vysokoenergetické elektrony mohou špatně sledovat zakřivený průběh pole, a proto také bez změny směru nárazy v plynu snáze zasáhnou stěnu.

Tvarem provedení výhodným pro jednoduchou výrobu takového dutého prostoru se zakřivenou osou je například dutý prostor šroubovitého tvaru, u kterého může být šroubovité natočení vypracováno z válcové vnitřní části, která společně s vnějším dutým válcem sloužícím jako vnější část tvoří dutý prostor šroubovitého tvaru.

Objasnění výkresů

Další výhodné formy provedení a vlastnosti vyplývají z následujícího popisu příkladů provedení znázorněných na výkresech, na nichž představují

obr. 1 schematické znázornění detektoru scintilace plynu podle vynálezu v první formě provedení,

obr. 2 schematické znázornění detektoru podle vynálezu řádkovacího elektronového mikroskopu (HPSEM) s kolektorovou elektrodou,

obr. 3 schematické znázornění detektoru podle vynálezu, u kterého jsou použity elektrody, podél jejichž povrchů je spojitý napěťový spád,

obr. 4 schematické znázornění detektoru scintilace plynu podle vynálezu, u kterého světlovodiče sousedí na více stranách s kaskádou sekundárních elektronů,

obr. 5 schematické znázornění detektoru z obr. 4 v kolmé rovině řezu k obr. 4,

obr. 6 schematické znázornění detektoru z obr. 4 v kolmé rovině řezu k obr. 4 a 5,

obr. 7 řez dalším příkladem provedení detektoru scintilace plynu,

obr. 8 schematické znázornění dalšího detektoru scintilace plynu s více dutými prostory pro různé oblasti tlaku,

obr. 9 schematické znázornění řezu dalšího příkladu provedení detektoru scintilace plynu, u kterého vzdálenost protilehlých stěn prostoru je proměnná a

obr. 10 detektor z obr. 9 v rovině řezu kolmé k obr. 9.

Příklady uskutečnění vynálezu

Obr. 1 až obr. 10 ukazují schematické znázornění detektorů řádkovacích elektronových mikroskopů (HPSEM) podle vynálezu. Základní části mikroskopu, zkušební komora, čerpací zařízení, řídicí zařízení atd. přitom nejsou znázorněny. Rovněž nejsou znázorněny zdroje napětí ke generování potenciálů U1 až U9 a také operační zesilovače, které jsou připojeny na kolektorové elektrody, popřípadě fotonásobiče, které jsou připojeny na světlovodiče.

Na obr. 1 až obr. 6 dopadnou primární elektrony otvorem 20 dolní stupňové clony 21 tlaku trubky pro vedení paprsku na vzorek 11 držený neznázorněným držákem vzorku 11, kde se generují sekundární elektrony. Přitom je stupňová clona 21 tlaku podle svého umístění uváděna rovněž jako dolní stupňová clona 21 tlaku. Emitované sekundární elektrony a jimi generované sekundární elektrony v plynu jsou v oblasti 19 pod dolní stupňovou clonou 21 tlaku vychýleny elektrickým polem stranou a jsou urychleny ve směru k první elektrodě 50, 51, 52, 67, která je na konci kaskády sekundárních elektronů, a ke které vede elektrické pole. To vede k tomu, že dochází k zesílení generováním sekundárních elektronů v plynu z velké části podél elektrického pole mezi oblastí 19 a první elektrodou 50, 51, 52, 67, která je na konci kaskády sekundárních elektronů. Přitom pozitivní ionty generované kaskádou sekundárních elektronů sledují elektrické pole v obráceném směru a jsou přepravovány ve směru k oblasti 19.

Na obr. 1 je přednostní potenciální rozdíl mezi vzorkem 11 a dolní stupňovou clonou 21 tlaku podle pracovní vzdálenosti, vzorku a složení plynu například až 800 V, při použití vodní páry zvláště mezi 250 V a 450 V. Tím se mezi vzorkem a dolní stupňovou clonou 21 tlaku generuje kaskáda sekundárních elektronů. Druhá elektroda 31, která obklopuje první elektrodu 51 v podstatě formou trychtýře se špičkou trychtýře směrem ke vzorku 11, má potenciál, který je vůči dolní stupňové cloně 21 tlaku pozitivní přednostně o 0 až 150 V. Další pomocná elektroda 34, která je s druhou elektrodou 31 rovnoběžná, je připevněna izolační vrstvou 32 na vnitřní straně trychtýře na druhé elektrodě 31. Další pomocná elektroda 41 je rovnoběžná s trubkou pro vedení paprsku. Potenciály dalších pomocných elektrod 41 a 34 jsou proti potenciálu druhé elektrody 31 pozitivní přednostně až o 250 V, jsou však negativní proti první elektrodě 51. Tím dochází k průniku pole generovaného první elektrodou 51 v oblasti 19 pod dolní stupňovou clonou 21 tlaku, který provede sekundární elektrony otvorem vytvořeným druhou elektrodou 31 a dolní stupňovou clonou 21 tlaku. Další pomocná elektroda 34 je připevněna přes izolační vrstvu 32 na druhé elektrodě 31. Další elektroda 41 může být buď rovněž připevněna přes izolační vrstvu na trubce pro vedení paprsku s dolní stupňovou clonou 21 tlaku, nebo ale (jak je znázorněno na obr. 1) je připevněna na světlovodiči 56. První elektroda 51 se skládá z více drah vodičů nebo drátů, které jsou připevněny na povrchu světlovodiče 56 a mezi nimi jsou štěrbiny, kterými mohou fotony vstupovat do světlovodiče 56. Potenciál první elektrody 51 je podle geometrie detektoru a složení plynu například o 100 V až 1000 V pro vodní páru jako plyn a pro geometrii schematicky znázorněnou na obr. 1 přednostně o 200 V až 500 V nad potenciálem dolní stupňové clony 21 tlaku. Celkově se tím dosáhne mezi vzorkem 11 a první elektrodou 51, na které končí kaskáda sekundárních elektronů, vyššího potenciálního rozdílu, než jaký je možný u známých detektorů řádkovacích elektronových mikroskopů (HPSEM) při stejném tlaku plynu. Vyšší potenciální rozdíl mezi vzorkem 11 a první elektrodou 51 vede k podstatně většímu zesilovacímu činiteli kaskády sekundárních elektronů a s tím spojeným výhodám, které byly vyjmenovány výše.

Obr. 2 uvádí schematické znázornění detektoru řádkovacího elektronového mikroskopu (HPSEM) s kolektorovou elektrodou. Přednostní potenciální rozdíly mezi vzorkem 11 a dolní stupňovou clonou 21 tlaku, elektrodami 31, 41 a 34 jsou stejné jako na obr. 1. Na obr. 2 končí kaskáda sekundárních elektronů na kolektorové elektrodě 52, která je proti dolní stupňové cloně 21 tlaku podle geometrie detektoru a složení plynu například pozitivní o 150 V až 1000 V a tvoří první elektrodu. Pro vodní páru a geometrii znázorněnou na obr. 2 je potenciální rozdíl přednostně mezi 250 V a 500 V. Další pomocné elektrody 54 a 53 mohou být vynechány, když je požadována jednoduchá konstrukce. Výhoda použití pomocných elektrod 53 a 54 spočívá ve zlepšeném průniku pole kolektorové elektrody 52 až k otvoru ve tvaru mezery mezi jinými pomocnými elektrodami 34 a 41. Potenciál pomocných elektrod 53 a 54 je přitom pro geometrii schematicky znázorněnou na obr. 2 přednostně negativní mezi 0 V a 100 V proti potenciálu kolektorové elektrody 52. Aby se dále zvětšila dráha v plynu, kterou probíhá kaskáda sekundárních elektronů, může být také vnější pomocná elektroda 34 rozdělena do několika částí, na které mohou být potom přiloženy různé potenciály, které mohou přispět k tomu, aby se v této oblasti odchýlily sekundární elektrony, které jsou ještě více vzdáleny od optické osy, a do kterých je potom uspořádána kolektorová elektroda. To má výhodu, že při stejném zesilovacím činiteli kaskády sekundárních elektronů se před kolektorovou elektrodou na konci kaskády sekundárních elektronů dosáhne ještě malé hustoty ionizace. Je tedy možný ještě větší zesilovací činitel kaskády sekundárních elektronů bez vzniku průrazů. Kolektorová elektroda 52, pomocné elektrody 53 a 54, elektroda 41 ve tvaru trubky obklopující trubku pro vedení paprsku a druhá elektroda 31 obklopující ve tvaru trychtýře kolektorovou elektrodu 52 jsou na obr. 2 připevněny na izolátoru 55.

Obr. 3 uvádí schematické znázornění dalšího detektoru řádkovacího elektronového mikroskopu (HPSEM). Při použití světlovodiče 56 místo izolátoru 55 se vytvoří detektor scintilace plynu. Při použití čárkované kolektorové elektrody 52 s dále připojeným operačním zesilovačem je to současně také detektor s kolektorovou elektrodou 52. Když se má použít výlučně jako detektor s kolektorovou elektrodou 52, může se světlovodič 56 nahradit plochým, čárkovaně naznačeným izolátorem 55, čímž se zmenší konstrukční výška. Místo druhé elektrody 31 na obr. 1 a na obr. 2 je na obr. 3 upraven izolátor 33, jehož dolní strana má dobře vodivou vrstvu jako další pomocnou

elektrodu 30, například kovovou vrstvu, a který přejímá funkci elektrody 31. Přednostní potenciální rozdíl mezi vzorkem 11 a stupňovou clonou 21 tlaku je stejný jako na obr. 1 a obr. 2. Přednostní potenciální rozdíl mezi stupňovou clonou 21 tlaku a kovovou vrstvou jako další pomocnou elektrodou 30 na obr. 3 je stejný jako potenciální rozdíl mezi stupňovou clonou 21 tlaku a první elektrodou 31 na obr. 1 a obr. 2. Na horní straně izolátoru 33 je znázorněna tenká vrstva 35. Tato vrstva má střední nebo malou vodivost a na hranici s kovovou vrstvou jako další pomocnou elektrodou 30. Na jejím vnějším kraji je vrstva 35 kontaktována kovovou vrstvou 50, jejíž potenciál má stejnou přednostní velikost jako potenciál kolektorové elektrody 52 na obr. 2. Tím podél tenké vrstvy 35 vznikne napěťový spád, vznikne také na protilehlé stěně dutého prostoru podél světlovodiče 56, popřípadě podél izolátoru 55. Toto vede k tomu, že kaskáda sekundárních elektronů je řízena v oblasti, která je vzdálena daleko od optické osy, a že kaskáda sekundárních elektronů při nepřítomnosti kolektorové elektrody 52 ostatně končí na elektrodě 50, případně končí na kolektorové elektrodě 52, když je k dispozici). Výhoda toho, že kaskáda sekundárních elektronů je řízena do oblasti vzdálené daleko od optické osy, byla uvedena právě v souvislosti s obr. 2. Výhoda použití elektrod 35, 54, podél kterých existuje spojitý napěťový spád, spočívá v tom, že se zvlášť dobře podaří vychýlit kaskádu sekundárních elektronů do oblastí, které jsou vzdáleny daleko od optické osy. Kromě toho se zmenší konstrukční nároky, protože takovou elektrodou může být nahrazeno více elektrod, které mají rozdílné potenciály. Kontaktování kovové vrstvy jako další pomocné elektrody 30 potenciálem U3 se provede izolovaným vodičem 36, který probíhá přednostně přibližně na ekvipotenciální ploše potenciálu U3, jak by existovala bez vodiče. Funkci elektrody 41 z obr. 1 a obr. 2 přejímá na obr. 3 dobře vodivá vrstva 42, obklopující přes izolátor 23 trubku pro vedení paprsku, kterou je například kovová vrstva. Její potenciál je přednostně mezi 5 V a 250 V nad potenciálem stupňové clony 21 tlaku, od které je elektricky oddělena izolační vrstvou 23. Mezi kovovou vrstvou 42 a elektrodou 21 může být nanesena tenká vrstva 22 s malou vodivostí, podél které je napěťový spád mezi potenciály U2 a U4. Ke zjednodušení konstrukce mohou být kovová vrstva 42, izolátor 23 a kovová vrstva 22 také vynechány, přičemž se potom ovšem nedosáhne tak dobrého průniku elektrického pole, které odklání kaskádu sekundárních elektronů od optické osy. Na dolní straně světlovodiče 56, která je propustná pro světlo, je v tenkých strukturách, například dráhách síťového tvaru, nanesena jako další pomocná elektroda 54 vrstva se střední nebo malou vodivostí, přičemž šířka drah vodičů je menší než 1 mm a mezi vodivými dráhami jsou mezery, kterými mohou fotony vstupovat do světlovodiče. Tato vrstva jako další pomocná elektroda 54, například vrstva ve tvaru sítě, je kovovou vrstvou 42 kontaktována potenciálem U4 a kovovou vrstvou 50 je kontaktována potenciálem U8, takže podél této vrstvy jako další pomocné elektrody 54 je napěťový spád podobně jako u vrstvy tvořící druhou elektrodu 35. Zvláště výhodné provedení spočívá v tom, že vrstva jako další pomocná elektroda 54 je transparentní pro fotony generované při scintilaci plynu. V tomto případě také nejsou potřebné žádné mezery uvnitř této vrstvy jako další pomocné elektrody 54. Když se použije izolátoru 55 místo světlovodiče 56, je vrstva jako další pomocná elektroda 54, podél které je napěťový spád, provedena rovněž bez mezer, aby se dosáhlo co nejnižších výrobních nákladů. V tomto případě také tato vrstva nemusí být transparentní.

Obr. 4, obr. 5 a obr. 6 uvádějí schematické znázornění dalšího detektoru scintilace plynu podle vynálezu v různých rovinách řezu. Na obr. 4 je přitom nakreslen průběh rovin řezů z obr. 5 a obr. 6. Části světlovodiče 56, izolační vrstva 64 a elektrody 15, 30 a 50, které leží za nákresnou, jsou na obr. 4 znázorněny čárkovaně. Světlovodič 56 je rozdělen do čtyř světlovodičů 56a, 56b, 56c a 56d. Tyto světlovodiče 56a, 56b, 56c a 56d tvoří dutý prostor ve tvaru jehlanu, do kterého je na obr. 6 pohled dovnitř od základny jehlanu. Stěny tohoto dutého prostoru jsou tvořeny povrchy světlovodiče 56, které jsou propustné pro světlo, na kterých jsou jako na obr. 3 naneseny vrstvy tvořící pomocné elektrody 54a, 54b, 54c, 54d se střední nebo malou vodivostí, podél kterých existuje napěťový spád. Jako na obr. 3 je také zde tato vrstva strukturována buď tak, že má mezery, kterými mohou fotony vstupovat do světlovodiče 56, nebo jsou transparentní, takže fotony mohou samy pronikat vrstvami. Jak se dá seznat z obr. 5 a obr. 6, jsou vně kolem světlovodiče 56 naneseny přídavné izolátory 61, 62, 63 a 64. Světlovodič 56 a izolátory 61, 62, 63 a 64 jsou obklopeny vícedílnou elektrodou 30, skládající se z dílčích elektrod 30a, 30b, 30c, 30d, 30e, 30f, 30g, 30h, 30i, která má potenciál U3. Touto elektrodou 30 jsou kontaktovány také vrstvy tvořící

pomocné elektrody 54a až 54d nanesené na vnitřní povrchy světlovodiče 56. Na druhé straně jsou vrstvy tvořící pomocné elektrody 54a až 54d nanesené na vnitřní povrchy světlovodiče 56 kontaktovány elektrodou 50, která má potenciál U8, a která je uspořádána na celé ploše ohraničení mezi světlovodiči 56a a 56b, 56c a 56d. Tato elektroda 50 svou funkcí odpovídá elektrodě 50 na obr. 3. Na ní končí kaskáda sekundárních elektronů. Jak se dá na obr. 5 seznat, světlovodiče při pohledu od optické osy se rozprostírají jen na jedné straně místo na obou stranách, což je případ forem provedení na obr. 1 a obr. 3.

V protikladu k provedení znázorněném na obr. 1 až obr. 3 nejsou při konstrukci podle obr. 4 až obr. 6 elektrody v oblasti mezi vzorkem 11 a dolní stupňovou clonou 21 tlaku rotačně symetrické. Světlovodiče 56b a 56c mají výřez ve tvaru půlkruhu kolem optické osy. Tím je mezi nimi a dolní stupňovou clonou 21 tlaku vytvořen otvor, kterým mohou části kaskády sekundárních elektronů vstoupit do dutého prostoru ve tvaru jehlanu. Toto je podporováno tím, že elektroda 30 (a také 30i) obklopující světlovodič má proti stupňové cloně 21 tlaku podle zvětšení, primární energie a pracovní vzdálenosti vyšší potenciál mezi 0 V a 500 V, přednostně mezi 0 V a 200 V. Toto jednostranně působící elektrické pole by mělo negativní vliv na dosažitelné rozlišení. Když se má dosáhnout vysokého rozlišení může proto kompenzační elektroda 15 ležící proti světlovodiči vzhledem k optické ose rastrovacího elektronového mikroskopu být nabita potenciálem U9, který se volí tak, že v oblasti optické osy se přibližně vyrovná elektrické pole ve směru ke kompenzační elektrodě 15 a elektrické pole ve směru ke světlovodiči 56. Kompenzační elektroda 15 má přitom tvar segmentu dutého komolého kužele, jehož obrys je na obr. 4 znázorněn čárkovaně. Tím může být vzorek při konstrukci znázorněné na obr. 5 až obr. 6 velmi dobře překlopen ve směru elektrody 15. Změnou potenciálu U9 se přitom může také působit proti zhoršení rozlišení, které by vznikalo při napětí mezi vzorkem 11 a dolní stupňovou clonou 21 tlaku nadto při překlopeném vzorku. Dolní stupňová clona 21 tlaku má potenciál, který se podle složení plynu, pracovní vzdálenosti a vzorku volí a pro vodní páru přednostně je mezi 0 V a 500 V nad potenciálem vzorku. Elektroda 30 skládající se z více částečných elektrod, zevně obklopující světlovodič, má proti dolní stupňové cloně 21 tlaku potenciál, který je pro znázorněnou geometrii detektoru pozitivní mezi 0 V a 500 V, přednostně mezi 0 V a 200 V, při jiné geometrii detektoru však může být ještě vyšší. Jako na obr. 3 je také na obr. 4 až obr. 6 opatřena trubku vedení paprsku obklopující přídavná elektroda 42, která se skládá z kovové vrstvy a je elektricky izolována izolační vrstvou 23 proti stupňové cloně 21 tlaku. Její potenciál U4 je pro znázorněnou geometrii detektoru rovněž přednostně pozitivní o 0 V až 200 V proti stupňové cloně tlaku. Dostane se konstrukční zjednodušení, ve kterém potenciál U4 elektrody 42 obklopující trubku vedení paprsku má stejný potenciál U3 jako elektroda 30 obklopující světlovodič. Jako na obr. 3 může být také v konstrukci na obr. 4 opatřena tenká vrstva 22 s malou nebo střední vodivostí a spojitým napěťovým spádem mezi elektrodou 21 a elektrodou 42 obklopující trubku vedení paprsku, aby se dále zlepšil průběh pole a aby se zakryl izolátor 23. Při malém potenciálním rozdílu mezi dolní stupňovou clonou 21 tlaku a elektrodou 30 obklopující světlovodič se dostane jako přednostní příklad provedení konstrukční zjednodušení tím, že se může vypustit elektroda 42 obklopující trubku vedení paprsku, izolační vrstva 23 a tenká vrstva 22.

Celkově je funkce provedení znázorněného na obr. 4 až obr. 6 podobná jako u provedení znázorněného na obr. 3. Mezi vzorkem 11 a dolní stupňovou clonou 21 tlaku se vytvoří kaskáda sekundárních elektronů. Zatímco později dojde k dalšímu zesílení proudu sekundárních elektronů v dutém prostoru ve tvaru jehlanu, stačí zde v protikladu k dnes známým detektorům řádkovacích elektronových mikroskopů (HPSEM) slabá kaskáda sekundárních elektronů. Podle nastavení potenciálů U9, U3, U2 a U1 může být buď velká část kaskády sekundárních elektronů vychýlena v dutém prostoru ve tvaru jehlanu napravo nahoru, přičemž ovšem podle primární energie a potenciálních rozdílů se nemůže dosáhnout plného místního rozlišení mikroskopu, nebo se na obr. 4 může pravá polovina kaskády sekundárních elektronů v dutém prostoru ve tvaru jehlanu vychýlit a může se dosáhnout plného rozlišení mikroskopu. V dutém prostoru ve tvaru jehlanu se kaskáda sekundárních elektronů rozprostírá na všechny strany až k první elektrodě 50, která má potenciál U8. Potenciál U8 je potom podle složení plynu, geometrie detektoru například mezi 100 V a více než 1000 V (pro schematicky znázorněnou geometrii a vodní páru jako plynu přednostně mezi

100 V a 600 V) nad potenciálem U2 dolní stupňové clony tlaku. Vytvoření kaskády sekundárních elektronů v dutém prostoru ve tvaru jehlanu, který je sevřen světlovodiči, má výhodu, že velmi velká část fotonů vytvořených scintilací plynu se dostane do světlovodiče. Toho se může také alternativně dosáhnout malým konstrukčním prostorem a malou plochou příčného průřezu světlovodiče, ve kterém plochy světlovodiče mohou být nahrazeny izolujícími odrazovými plochami, na kterých je nanesena špatně vodivá vrstva. Izolující odrazová plocha se může také skládat z tenkého světlovodiče, který odráží zezadu. Dutý prostor ve tvaru jehlanu má tu výhodu, že na povrch světlovodiče mohou být naneseny zvlášť lehké struktury z vrstvy s malou nebo střední vodivostí, protože ohraničující plochy dutého prostoru jsou rovné. Samozřejmě jsou ale možné jiné tvary dutého prostoru, které nemají žádné rovné ohraničující plochy a s ohledem na elektrické pole jsou částečně dokonce ještě lepší.

Na obr. 1 až obr. 4 je otvor vytvořený druhou elektrodou 31 případně elektrodou 30 případně elektrodou 31i, kterým procházejí sekundární elektrony, relativně velký. Může být ale také podstatně menší (například podobně velký jako otvor stupňové clony tlaku), nebo může být nahrazen více menšími otvory, které jsou uspořádány po straně od stupňové clony tlaku. Výhoda přitom spočívá v tom, že bude možné pro kaskádu sekundárních elektronů použít jiného plynu s podstatně větším zesilovacím činitelem, než který je ve zkušební komoře. Aby se udržela co nejmenší výměna s plynem ve zkušební komoře. Aby se udržela co nejmenší výměna s plynem ve zkušební komoře, je výhodné mít stejný tlak ve zkušební komoře a v dutém prostoru, ve kterém existuje kaskáda sekundárních elektronů. Dutý prostor, ve kterém existuje kaskáda sekundárních elektronů, může být přitom vypláchnut plynem, který je potřebný pro kaskádu sekundárních elektronů, aby se znečištění plynem ze zkušební komory udrželo co nejmenší. Jen malé znečištění plynem ze zkušební komory nastane, když se tlak plynu v dutém prostoru udržuje vyšší, než ve zkušební komoře. S takovým detektorem podle vynálezu, který pracuje s kaskádou sekundárních elektronů, je také možný provoz blízký provozu bez plynu ve zkušební komoře, při kterém je zkušební komora stále vyčerpávána a plyn, který je ve zkušební komoře, se skládá jen z plynu, který proudí otvorem z dutého prostoru, ve kterém je kaskáda sekundárních elektronů.

Detektor scintilace plynu na obr. 7 se skládá ze světlovodiče 80 ve formě válcové trubky z materiálu vedoucího světlo s detektorem 82 světla na konci světlovodiče 83, který je napojen na válcovou trubku světlovodiče 80. Na jednu stranu otevřený dutý prostor ve světlovodiči 83 má slabě elektricky vodivou vrstvu 84. Nabitím vhodným potenciálem kontaktních kroužků tvořících elektrody 65, 66, 67 se dosáhne toho, že v první oblasti neboli v oblasti 68 na straně vstupu trubkového protáhlého dutého prostoru 81 vznikne druhá oblast s větší silou elektrického pole, ve které vystupuje silná kaskáda sekundárních elektronů. Hustota ionizace v této druhé oblasti se ideálně nastaví až blízko k hustotě ionizace průrazu. V oblasti 68 na straně vstupu je uzavřena protáhlá objemová oblast 69, která je dlouhá ve srovnání s největším průměrem kružnice, která se dá vepsat do průřezu, ve které vhodným nabitím kontaktování tvořeného elektrodami 66, 67 potenciály převládá malá síla elektrického pole, takže v této druhé, protáhlé objemové oblasti 69 vznikne znásobení sekundárních elektronů asi 1, tedy proud sekundárních elektronů je udržován konstantní bez podstatného dalšího zesílení. V této druhé, protáhlé objemové oblasti 69 vznikne na základě velké hustoty ionizace v této oblasti silná scintilace plynu, aniž by byla nutná nadkritická hustota ionizace vedoucí k průrazu. Důkazem fotonů vytvořených v druhé oblasti je možný velmi citlivý důkaz původních sekundárních elektronů.

Střední kontaktování ve formě elektrody 66 může také odpadnout, když se místo něj se v první oblasti nastaví síla pole odlišná od síly pole ve druhé oblasti tak, že se vodivost slabě vodivého povrchu v první oblasti liší od vodivosti v druhé oblasti. Toho se může dosáhnout například rozdílnou tloušťkou vrstvy v obou oblastech.

Další výhodná možnost spočívá v tom, že vytvoření kaskády sekundárních elektronů na straně vstupu s velkou hustotou ionizace nastane nikoli uvnitř dutého prostoru, nýbrž před dutým prostorem. To se dá nastavit pomocí další elektrody 73 na čelní straně detektoru, která může být

rovněž vytvořena jako elektricky slabě vodivá vrstva, takže se nastaví gradient elektrického pole ve směru k otvoru dutého prostoru.

Odrazové plochy vnějších ploch světlovodiče 80, 83 nejsou na obr. 7 znázorněny. Na čelní ploše 73 je také upravena výhodná, vodivá nebo slabě vodivá vrstva, propustná pro světlo.

Na tomto místě je nutno poukázat na to, že dutý prostor nemusí být nutně válcově kulatý, spíše jsou také myslitelné válcové duté prostory s plochými nebo různě zakřivenými stěnami. Místo dutého prostoru se může použít také štěrbina, jejíž účinná výška je dána největším průměrem kružnice, která se dá ve štěrbině vepsat. Kontaktování nesmí však přitom nastat přes celou šířku štěrbiny, ale takové kontaktování, na kterém je nejvyšší potenciál, by zejména mělo mít dostatečný odstup od okrajů štěrbiny, aby nevznikaly žádné průrazy. Když se místo dutého prostoru použije štěrbiny nebo meziprostoru, měla by šířka štěrbiny, případně šířka meziprostoru být zvolena víc než třikrát větší než je účinná výška štěrbiny, případně meziprostoru, aby nevznikly takové průrazy.

V dalším provedení vynálezu je také možné upravit více dutých prostorů a meziprostorů s alespoň v jednom směru rozdílnými vzdálenostmi od protilehlých ploch stěn. Pohled na jedno takové další provedení je zobrazen na obr. 8. Přednostní tvar provedení spočívá v tom, že dutý prostor 71 s menší vzdáleností od protilehlých stěn je blíže ke vzorku než dutý prostor 70 s větší vzdáleností od protilehlých stěn. Rozdílnými rozměry dutých prostorů 70, 71 ve světlovodiči 72 v alespoň v jednom směru kolmém k podélné ose dutých prostorů 70, 71 je vždy jeden z dutých prostorů 70, 71 při stejných přiložených potenciálech předem určen pro blízkou optimální kaskádu sekundárních elektronů při různých tlacích. Podle právě existujícího tlaku komory může potom jeden z dutých prostorů 70, 71 být zvolen jako detektor sekundárních elektronů, ve kterém elektroda nebo elektrody v jednom z obou dutých prostorů jsou nabity potenciálem vytvořeným kaskádou sekundárních elektronů.

V dutém prostoru 71 s menší vzdáleností protilehlých ploch stěn může být také vzdálenost kontaktování volena o něco menší než u dutého prostoru 70 s větší vzdáleností protilehlých ploch stěn. V tomto příkladu provedení představuje zvláště nízký do šířky protažený dutý prostor 71 smíšený tvar, u kterého zvětšení objemu s větší hustotou ionizace následuje jak ve směru, tak v kolmém směru šíření kaskády sekundárních elektronů, protože kaskáda sekundárních elektronů se může rozšířit přes celou šířku dutého prostoru 71.

Další přednostní provedení vynálezu spočívá v použití dutého prostoru nebo meziprostoru, jejichž plochy stěn mají proměnnou vzdálenost, takže vzdálenost mezi plochami stěn se pro kaskádu sekundárních elektronů při právě existujícím tlaku komory dá nastavit na optimální hodnotu. Znázornění řezu takového příkladu provedení je uvedeno na obr. 9. Další výhoda tohoto příkladu provedení spočívá v tom, že čelní plocha světlovodiče 83 má scintilátor 87, na kterém je nanesena napařená vrstva 88 jako tenké kontaktování, na kterém je například 10 kV. Dále je před tímto kontaktováním upravena mřížková síť 89, aby se jeho silné elektrické pole proti zkušební komoře oslabilo. Tento detektor může být při provozu rastrovacího elektronového mikroskopu s vysokým vakuem v komoře použit také jako Everhardt–Thornleyův detektor. Výhoda spočívá zvláště v tom, že stejný světlovodič 83 se svým vakuovým provedením neznázorněným na obr. 9 a stejný detektor 82 fotonů může být použit jak při provozu s vakuem ve zkušební komoře, tak také při provozu s plynem ve zkušební komoře. Stejný příklad provedení, který je na obr. 9 znázorněn v řezu podél osy světlovodiče 83, je na obr. 10 znázorněn v řezu napříč k ose světlovodiče 83. Skládá se ze světlovodiče 83, který je spojen se světlovodičem 80, který sousedí s dutým prostorem 81, který představuje oblast vymezenou vůči zkušební komoře, ve které se vytvoří zvětšený objem s větší hustotou ionizace. V protikladu k předchozímu příkladu provedení je protáhlý dutý prostor 81 na obě strany otevřený. To sice vyžaduje větší délku než u protáhlého dutého prostoru 81 otevřeného jen na jednu stranu, ale má výhodu, že je usnadněna mechanická přestavitelnost vzdálenosti protilehlých stěn dutého prostoru. Možnost přestavení je zde symbolizována dvěma šipkami F. Síla působí přitom nahoru na světlovodič 83, případně dolů na výztuhu 91.

Podle vzdálenosti proti sobě ležících stěn dutého prostoru je na elektrodách 65, 66, 67, odpovídajících příkladu provedení na obr. 7, vhodné tlakové nabití potenciálem, aby se v první oblasti dutého prostoru mezi elektrodami 6, 66 vytvořila silná kaskáda sekundárních elektronů, a aby se v druhé oblasti dutého prostoru mezi elektrodami 66 a 67 zachovala velká hustota ionizace. Kontaktování 85 má přednostně potenciál elektrody 65 nebo potenciál odrazové plochy 86. V oblasti mezi elektrodou 67 a kontaktováními 85 se doznívající kaskádou sekundárních elektronů připojí k signálu fotonů ještě přídavek, který je však významně menší než signál fotonů, který se vytvoří mezi elektrodami 66 a 67. V tomto příkladu provedení se předpokládá, že dutý prostor je ohraničen také na dolní straně z vnějšku odrážející světlovodičem 90, na kterém je stejně jako na vrchním světlovodiči 80 nanesena slabě vodivá vrstva tvořící elektrodu 84. Místo toho by bylo také možné dolní ohraničení dutého prostoru světlovodiče 90 vytvořit z elektricky nevodivého odrazného materiálu a přímo na něj nanést slabě vodivou vrstvu jako elektrodu 84.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Rastrovací elektronový mikroskop pro provoz s plynem ve zkušební komoře, s trubkou pro vedení paprsku pro primární elektrony, se zkušební komorou, s držákem vzorku (11) ve zkušební komoře, se stupňovou clonou (21) tlaku, kterou vstupují primární elektrony do zkušební komory, a s první elektrodou (50, 51, 52) mající vůči držáku vzorku (11) a stupňové cloně (21) tlaku pozitivní potenciál k urychlení sekundárních elektronů vystupujících ze vzorku (11), drženého držákem vzorku (11), přičemž tato první elektroda (50, 51, 52) je uspořádána mimo trubku pro vedení paprsku, a s alespoň jednou druhou elektrodou (30, 31), jejíž konec přivrácený k držáku vzorku (11) je od držáku vzorku (11) vzdálen méně než první elektroda (50, 51, 52) a má potenciál (U3), který leží mezi potenciálem (U6, U7a, U7b, U8) první elektrody (50, 51, 52) a potenciálem (U1) vzorku (11) nebo má potenciál (U1) vzorku (11), **vyznačující se tím**, že druhá elektroda (30, 31) obklopuje první elektrodu (50, 51, 52) v podstatě ve tvaru trychtýře se špičkou trychtýře směrem ke vzorku (11).

2. Rastrovací elektronový mikroskop pro provoz s plynem ve zkušební komoře, s trubkou pro vedení paprsku pro primární elektrony, se zkušební komorou, s držákem vzorku (11) ve zkušební komoře, se stupňovou clonou (21) tlaku, kterou vstupují primární elektrony do zkušební komory, a s první elektrodou (35) uspořádanou mimo trubku pro vedení paprsku, **vyznačující se tím**, že první elektroda (35) je provedená jako elektricky slabě vodivá a má alespoň dvě kontaktování, a že konec první elektrody (35) přivrácený k držáku vzorku (11) má elektrický potenciál (U3), který leží mezi potenciálem kontaktování s nejvyšším potenciálem (U8) a potenciálem (U1) vzorku (11) nebo má potenciál (U1) vzorku (11), přičemž kontaktování s nejvyšším potenciálem (U8) má vůči držáku vzorku (11) a stupňové cloně (21) tlaku pozitivní potenciál.

3. Rastrovací elektronový mikroskop podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že jsou upraveny další pomocné elektrody (22, 41, 35, 42, 54, 54a, 54b) pro vedení sekundárních elektronů k první elektrodě (35, 50, 51, 52).

4. Rastrovací elektronový mikroskop podle nároku 1 nebo 3, pokud je nárok 3 vztažen na nárok 1, **vyznačující se tím**, že druhá elektroda (30, 31) probíhá se sklonem k optické ose rastrovacího elektronového mikroskopu od první elektrody (35, 50, 51, 52) ve směru k držáku vzorku (11) a na jejím konci přivráceném k držáku vzorku (11) tvoří otvor (20) k průniku pole vytvořeného první elektrodou (35, 50, 51, 52) nebo pomocnými elektrodami (22, 41, 35, 42, 54, 54a, 54b) vedoucími sekundární elektrony k první elektrodě (35, 50, 51, 52).

5. Rastrovací elektronový mikroskop podle jednoho z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že druhou elektrodou (30, 31) nebo pomocí potenciálového spádu podél povrchu elektric-

ky slabě vodivé elektrody (35) je vytvořen zvětšený objem s vyšší, avšak podkritickou hustotou ionizace.

6. Rastrovací elektronový mikroskop podle nároku 5, **vyznačující se tím**, že více než polovina objemu s vyšší hustotou ionizace leží v oblasti, která je elektrodami (30, 31, 35) ohraničena od zbytku zkušební komory.

7. Rastrovací elektronový mikroskop podle jednoho z nároků 1 až 6, **vyznačující se tím**, že první elektroda (50, 51, 52) a druhá elektroda (30, 31) nebo elektricky slabě vodivá první elektroda (35) jsou vytvořeny rotačně symetricky k optické ose rastrovacího elektronového mikroskopu.

8. Rastrovací elektronový mikroskop podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že první elektroda (51, 52) obklopuje ve tvaru prstence optickou osu rastrovacího elektronového mikroskopu a druhá elektroda (30, 31) obklopuje první elektrodu (51, 52) kuželovitě a sbíhá se směrem k držáku vzorku (11).

9. Rastrovací elektronový mikroskop podle nároku 8, **vyznačující se tím**, že je upravena pomocná elektroda (22, 41), která obklopuje ve tvaru trubky optickou osu rastrovacího elektronového mikroskopu.

10. Rastrovací elektronový mikroskop podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že elektricky slabě vodivá další pomocná elektroda (54a, 54b) je umístěna ve vnitřku dutého prostoru otevřeného na jedné straně ve světlovodiči (56a – 56d).

11. Rastrovací elektronový mikroskop podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že elektricky slabě vodivá další pomocná elektroda (54a, 54b) se rozprostírá v dutém prostoru na vnitřním povrchu světlovodiče (56a – 56d).

12. Rastrovací elektronový mikroskop podle nároku 10 nebo 11, **vyznačující se tím**, že dutý prostor ve světlovodiči (56a – 56d) má tvar jehlanu.

13. Rastrovací elektronový mikroskop podle jednoho z nároků 1 až 12, **vyznačující se tím**, že první elektroda (50, 51, 52), která je uspořádána na konci kaskády sekundárních elektronů, má potenciál, který je pozitivní o více než 100 V, přednostně o více než 200 V, vůči potenciálu stupňové clony (21) tlaku.

14. Rastrovací elektronový mikroskop podle nároku 13, **vyznačující se tím**, že první elektroda (50, 51, 52), která je uspořádána na konci kaskády sekundárních elektronů, má potenciál, který je pozitivní o nejméně 550 V, přednostně o více než 600 V vůči vzorku (11).

15. Rastrovací elektronový mikroskop podle jednoho z nároků 1 až 14, **vyznačující se tím**, že druhá elektroda (30, 31) má vůči vzorku (11) potenciál nejméně 100 V.

16. Rastrovací elektronový mikroskop podle jednoho z nároků 1 až 15, **vyznačující se tím**, že elektroda (51, 52, 53, 54, 54a, 54b) upevněná na povrchové ploše světlovodiče (56) propustné pro světlo je vytvořena z více vodivých drah nebo drátů, jejichž šířka je menší než 1 mm, a mezi nimiž jsou mezery, kterými mohou fotony vstupovat do světlovodiče.

17. Rastrovací elektronový mikroskop podle jednoho z nároků 1 až 16, **vyznačující se tím**, že na povrchu světlovodiče (56), propustném pro světlo, je upevněna další pomocná elektroda (54, 54a, 54b), podél které je napěťový spád, a která je buď průhledná nebo se skládá z jemných struktur, jejichž šířka je menší než 1 mm, a mezi nimiž jsou mezery, kterými mohou fotony vstupovat do světlovodiče, přičemž tato další pomocná elektroda (54, 54a, 54b) v obou

případech sestává z materiálu s malou vodivostí nebo z velmi tenké tloušťky materiálu, čímž je umožněn napěťový spád podél této další pomocné elektrody (54, 54a, 54b).

18. Detektor sekundárních elektronů v rastrovacím elektronovém mikroskopu s plynem ve zkušební komoře při využití kaskády sekundárních elektronů, **vyznačující se tím**, že je upravena jedna elektroda (84) s malou elektrickou vodivostí, která se rozprostírá podél meziprostoru nebo protáhlého dutého prostoru (81), přičemž tato elektroda (84) je nabita potenciálem tak, že v oblasti (68) na vstupní straně uvnitř nebo před protáhlým dutým prostorem (81) nebo meziprostorem vznikne pro sekundární elektrony velké zesílení a na tuto oblast (68) na vstupní straně se napojuje protáhlá objemová oblast (69) s redukovaným zesilovacím činitelem sekundárních elektronů.

19. Detektor sekundárních elektronů v rastrovacím elektronovém mikroskopu s plynem ve zkušební komoře při využití kaskády sekundárních elektronů, přičemž je upraveno více elektrod (65, 66, 67), které se rozprostírají podél meziprostoru nebo protáhlého dutého prostoru (81), přičemž elektrody (65) jsou nabity potenciálem tak, že v oblasti (68) na vstupní straně uvnitř nebo před protáhlým dutým prostorem (81) nebo meziprostorem vznikne pro sekundární elektrony velké zesílení a na tuto oblast (68) na vstupní straně se napojuje protáhlá objemová oblast (69) s redukovaným zesilovacím činitelem sekundárních elektronů, **vyznačující se tím**, že dodání potenciálu elektrodám (66, 67) v této protáhlé objemové oblasti (69) se provede tak, že přiložené elektrické pole působí proti zeslabení kaskády sekundárních elektronů vzniklému rázy v plynu a posuvy sekundárních elektronů ke stěnám, takže zůstane zachována vysoká avšak podkritická hustota ionizace, a přičemž fotony vytvořené v protáhlé objemové oblasti (69) jsou prokázány.

20. Detektor podle nároku 18 nebo 19, **vyznačující se tím**, že dutý prostor je vytvořen ve světlovodiči (83) nebo se světlovodičem (83) sousedí a tento světlovodič (83) je vytvořen pro důkaz scintilace plynu.

21. Detektor podle nároku 20, **vyznačující se tím**, že elektroda nebo elektrody (84, 66, 67) jsou prostupné pro světlo nebo se skládající z jemných struktur s meziprostory pro průchod světla.

22. Detektor podle jednoho z nároků 18 až 21, **vyznačující se tím**, že potenciál elektrody (84) nebo elektrod (66, 67) v protáhlém dutém prostoru (81) nebo meziprostoru je místy nejméně 200 V, s výhodou je větší než 400 V, vůči stupňové cloně (21) tlaku rastrovacího elektronového mikroskopu.

23. Detektor podle jednoho z nároků 18 až 22, **vyznačující se tím**, že potenciál elektrody (84) nebo elektrod (66, 67) v protáhlém dutém prostoru (81) nebo meziprostoru je místy pozitivní o více než 600 V vůči vzorku (11) emitujícímu sekundární elektrony.

24. Detektor podle jednoho z nároků 18 až 23, **vyznačující se tím**, že protáhlá objemová oblast (69) je v podélném směru větší než dvojnásobek největšího průměru kružnice, která se dá vepsat do průřezu protáhlého dutého prostoru (81) nebo meziprostoru.

25. Detektor podle jednoho z nároků 18 až 24, **vyznačující se tím**, že redukovaný zesilovací činitel je menší než pětinásobek, přednostně je menší než dvojnásobek.

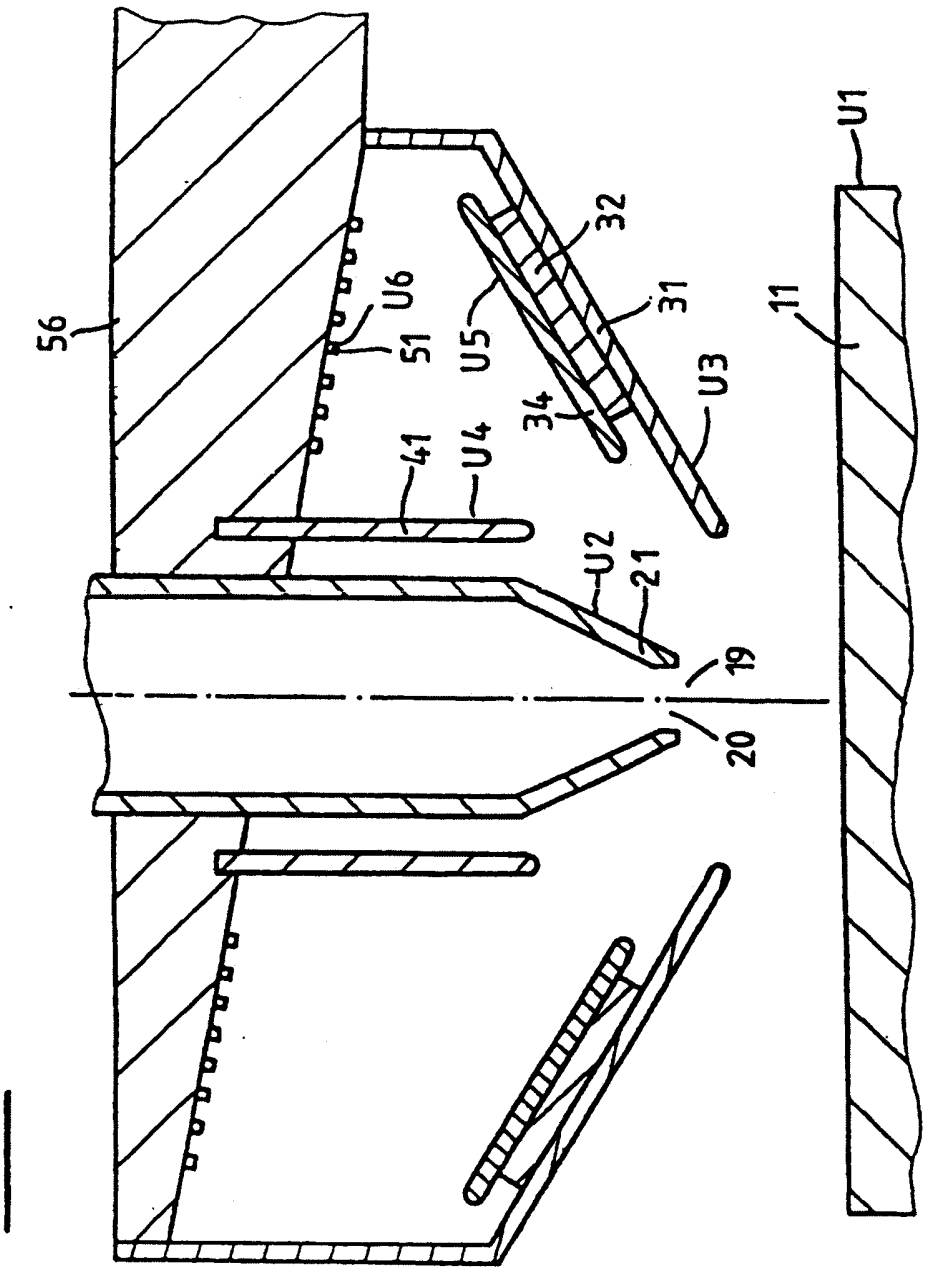
26. Detektor podle nároku 25, **vyznačující se tím**, že redukovaný zesilovací činitel je větší než 0,2 násobek.

8 výkresů

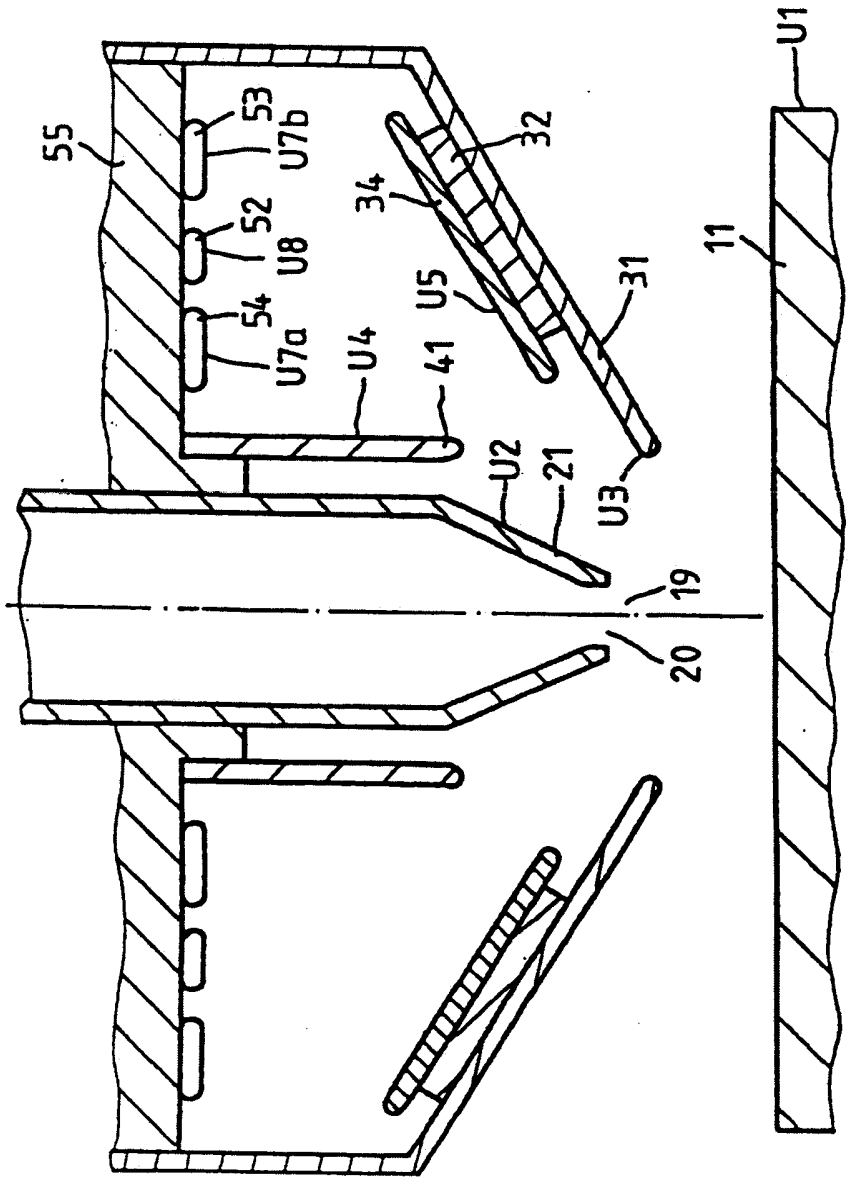
Seznam vztahových značek:

Poznámka: V závorkách jsou uvedeny v přihlášce používané alternativní nebo zpřesňující názvy.

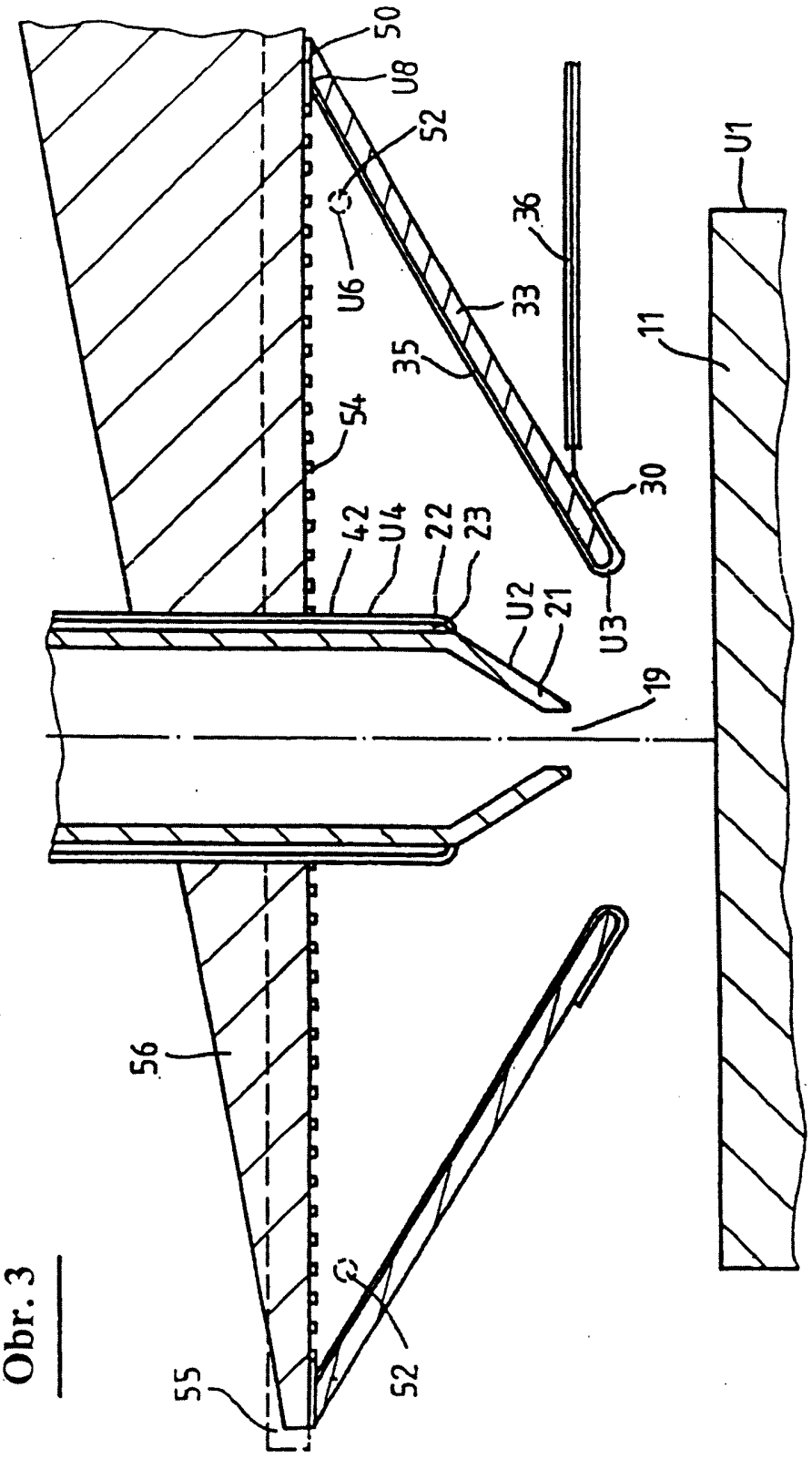
šipka F
potenciál U1, U2, U3, U4, U5, U6, U7, U8, U9
vzorek 11
(kompenzační) elektroda 15
oblast 19 (pod dolní stupňovou clonou tlaku)
otevření 20
stupňová clona 21 tlaku (trubky vedení paprsku), (elektroda)
(pomocná (třetí) elektroda) (tenká, kovová) vrstva 22
izolátor 23 (izolační vrstva)
vodivá (kovová) vrstva 30
(druhá) elektroda 30
část 30a, 30b, 30c, 30d, 30e, 30f, 30g, 30h, 30i (druhé) elektrody
druhá elektroda 31
izolátor (izolační vrstva) 32, 33
pomocná (další) elektroda 34
(tenká) vrstva (pomocná elektroda) 35
izolovaný vodič 36
pomocná (další, třetí) elektroda 41
kovová vrstva (třetí elektroda) 42
kovová vrstva ((slabě vodivá) elektroda) 50
první elektroda 50, 51, 52, 67
kolektorová elektroda 52
pomocná elektroda (vrstva) 54, 55
izolátor 55
vrstva (elektroda) 54
části 54a, 54b, 54c, 54d, vrstvy ((pomocné) elektrody)
vrstva 54a, 54b, 54c, 54d
izolátor 55
světlovodič 56
část 56a, 56b, 56c, 56d světlovodiče
izolátor 61, 62, 63, 64
izolační vrstva (elektroda) 64
elektroda 65, 66, 67
kontaktování (kontaktní kroužky) 65, 66, 67
oblast 68 na straně vstupu
dlouhá (podlouhlá) (objemová) oblast 69
dutý prostor 70, 71
světlovodič 72
další elektroda 73
čelní plocha 73
světlovodič 80
válcová trubka 80, 83
světlovodič 80
(trubkový rýhovaný prostor) dutý prostor 81
detektor 82 světla (fotonů)
světlovodič 83
slabě vodivá vrstva 84
kontaktní kroužky (kontaktování) 85, 86, 87
odrazová plocha 86
scintilátor 87
napařená vrstva 88
mřížková síť 89
dolní ohraničení (odrážející světlovodič) 90
výztuha 91



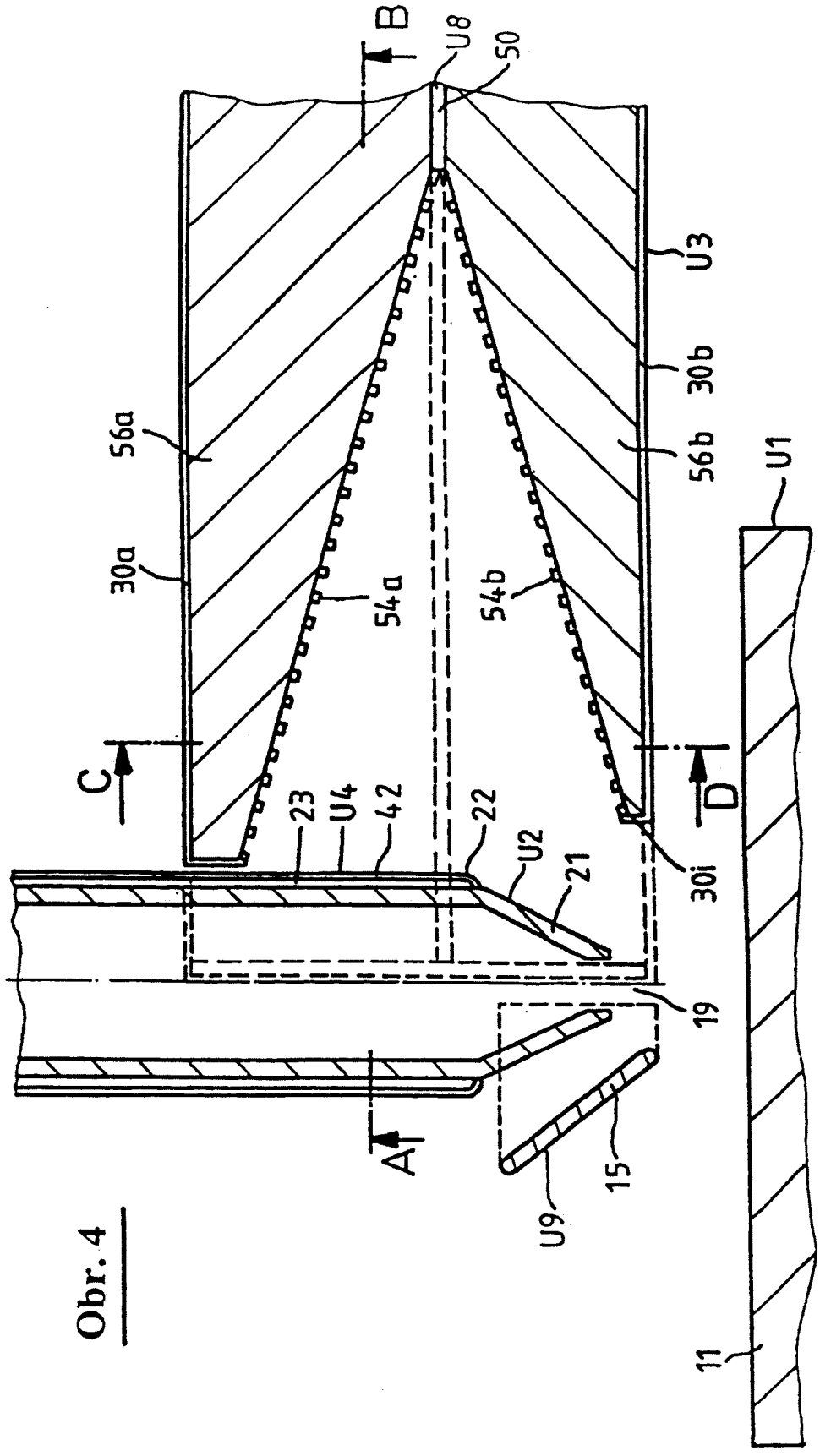
Obr. 1



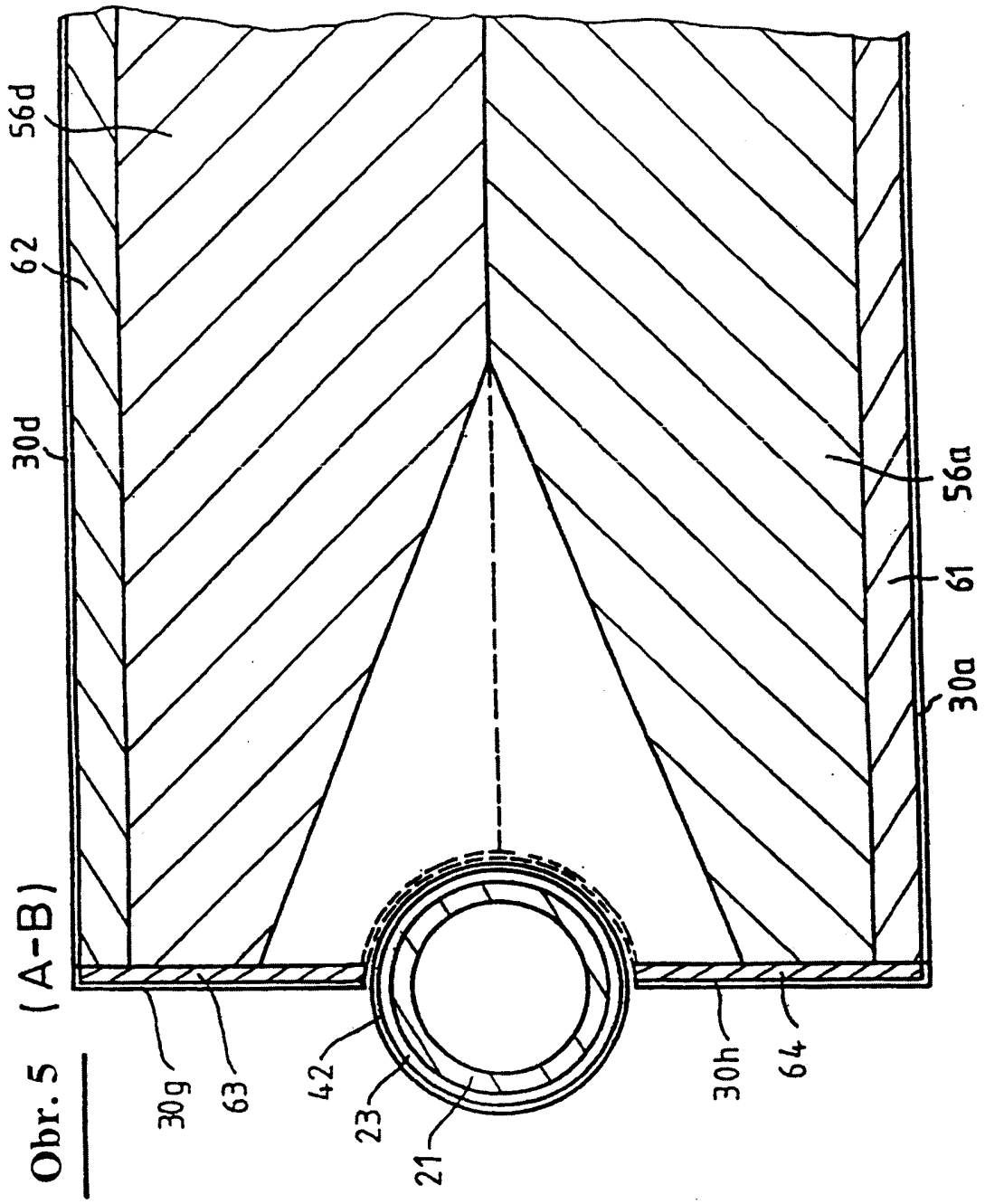
Obr. 2



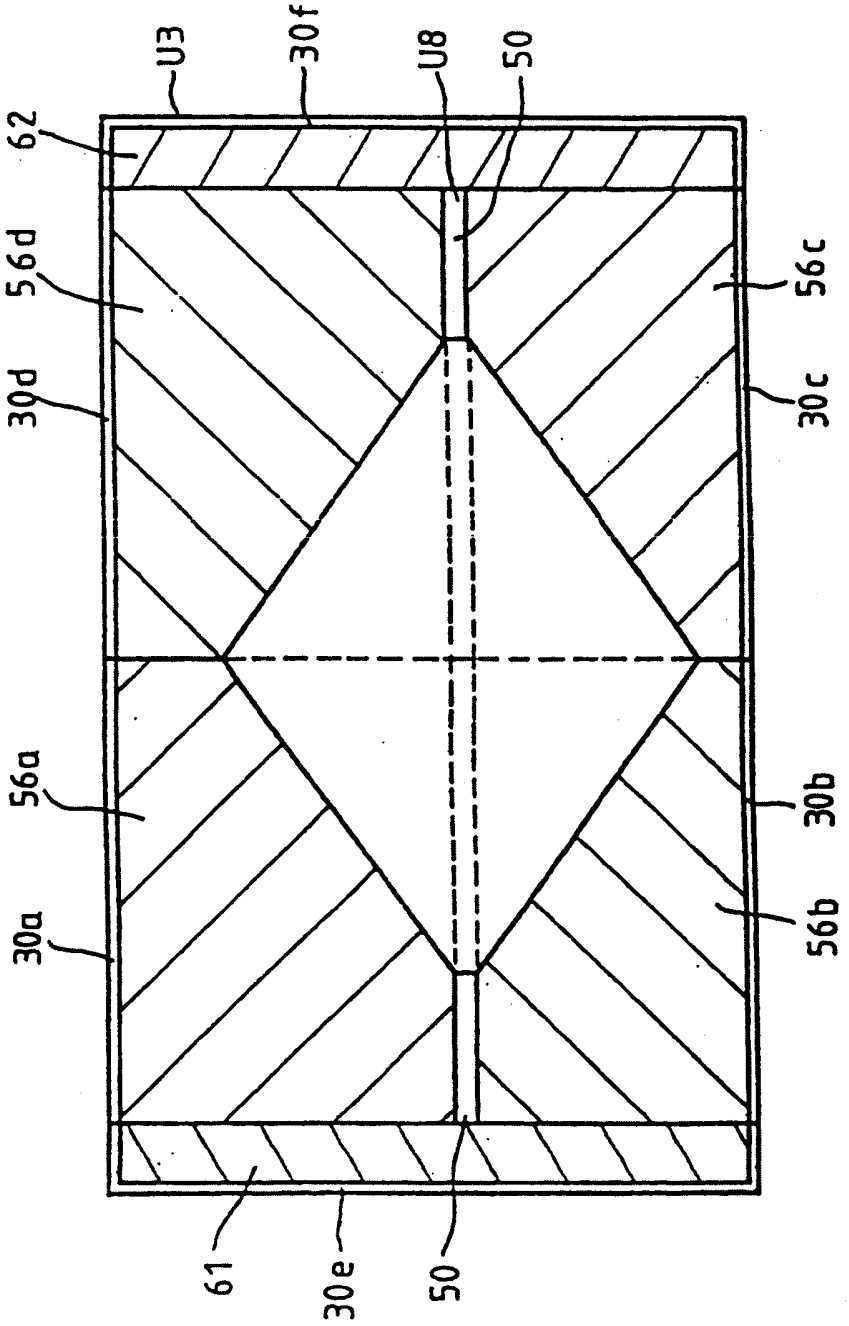
Obr. 3


B
U8
50
U3
30b
56b
U1
56a
30a
54a
54b
C
D
23
U4
42
22
U2
21
30i
19
A
15
U9
11

Obr. 4

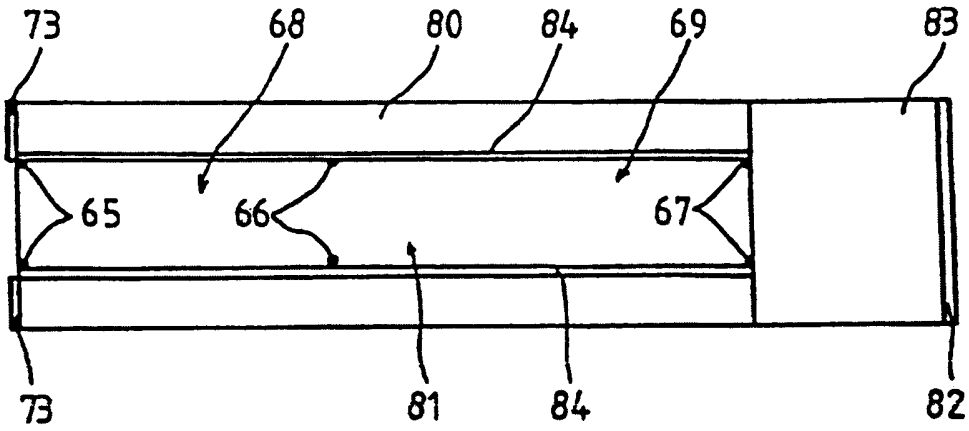


Obr. 5 (A-B)

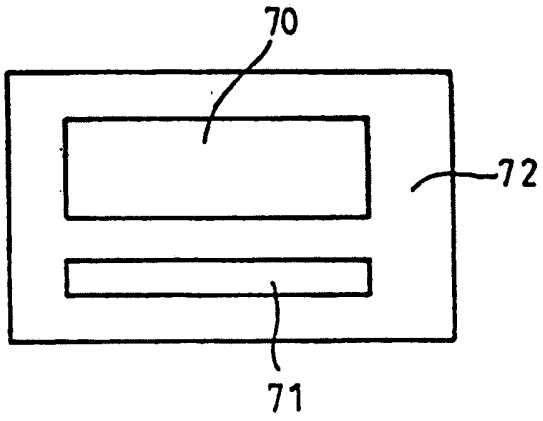


Obr. 6 (C-D)

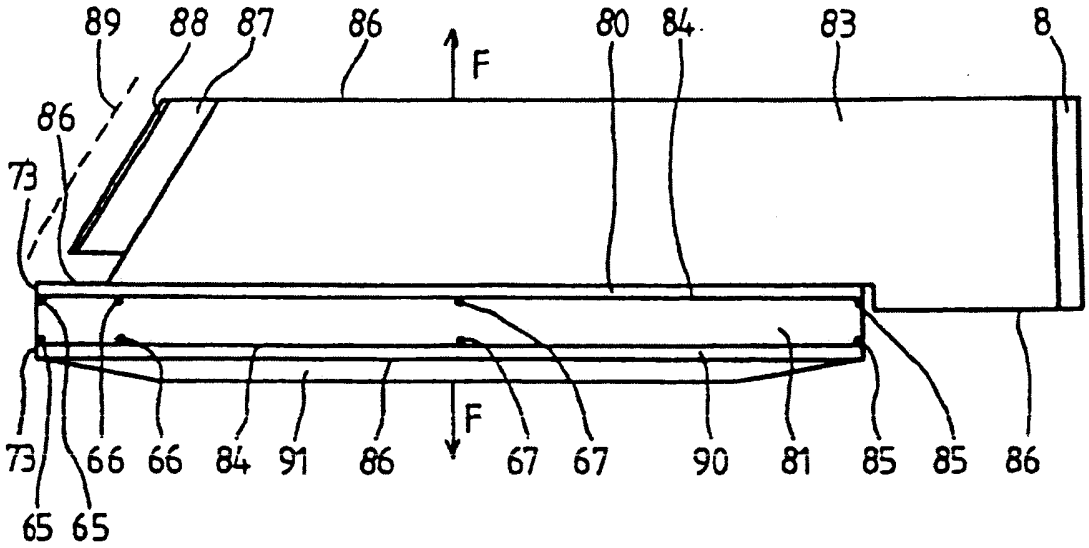
Obr. 7



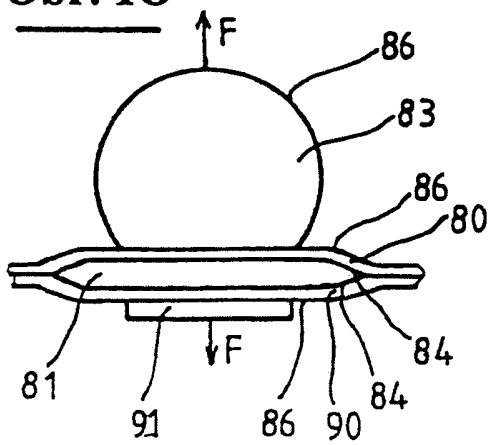
Obr. 8



Obr. 9



Obr. 10



Konec dokumentu