

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2013-293

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

H01J 37/29

(2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

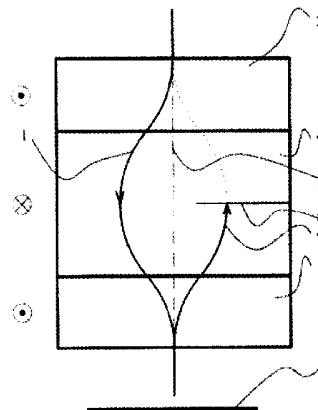
(22) Přihlášeno: **19.04.2013**
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **20.08.2014**
(Věstník č. 34/2014)

- (71) Přihlašovatel:
DELONG INSTRUMENTS a.s., Brno, CZ
- (72) Původce:
RNDr. Vladimír Kolařík, CSc., Brno, CZ
- (74) Zástupce:
KANIA, SEDLÁK, SMOLA
Patentová a známková kancelář, Ing. František
Kania, Mendlovo nám. 1a, 603 00 Brno

nebo druhého homogenního magnetického sektorového pole, v nichž je signální elektronový svazek (6) odchýlen od dráhy emitovaných primárních elektronů primárního elektronového svazku (1). Řešení se týká i zařízení pro provádění tohoto způsobu.

- (54) Název přihlášky vynálezu:
**Způsob detekce signálních elektronů v
elektronovém mikroskopu a zařízení pro
provádění tohoto způsobu**

- (57) Anotace:
Řešení se týká způsobu detekce signálních elektronů v elektronovém mikroskopu. Na emitovaný primární elektronový svazek (1) a zpětně emitovaný signální elektronový svazek (6) se působí nad místem dopadu primárního elektronového svazku (1) na pozorovaný objekt (7) nejdříve, ve směru dráhy emitovaných primárních elektronů, prvním homogenním magnetickým sektorovým polem, jehož vektor magnetické indukce je kolmý na optickou osu (3) soustavy pro odchýlení emitovaného primárního elektronového svazku (1) jedním směrem. Pak se na něj působí druhým homogenním magnetickým sektorovým polem, jehož vektor magnetické indukce je kolmý na optickou osu (3) soustavy a protiběžný vůči vektoru magnetické indukce prvního homogenního magnetického sektorového pole pro přichýlení svazku emitovaných primárních elektronů a svazku signálních elektronů opačným směrem k optické ose (3) soustavy. Nakonec se na něj působí třetím homogenním magnetickým sektorovým polem, jehož vektor magnetické indukce je kolmý na optickou osu (3) soustavy a souběžný s vektorem magnetické indukce prvního homogenního magnetického sektorového pole pro vrácení emitovaného primárního elektronového svazku (1) do optické osy (3) soustavy a vychýlení signálního elektronového svazku (6) od osy (3) optické soustavy po jejich emisi z místa dopadu primárního elektronového svazku (1) na pozorovaný objekt (7). Pak se snímá signální elektronový svazek (6) v oblasti třetího



Způsob detekce signálních elektronů v elektronovém mikroskopu a zařízení pro provádění tohoto způsobu

Oblast techniky

Vynález se týká způsobu detekce signálních elektronů v elektronovém mikroskopu a zařízení pro provádění tohoto způsobu.

Dosavadní stav techniky

Rastrovací elektronová mikroskopie pracuje s velkým rozsahem energií primárních elektronů, které dopadají na zkoumaný preparát. Tento rozsah je řádově několik desítek keV v případě vysokovoltové elektronové mikroskopie, několik jednotek eV v případě nízkovoltové elektronové mikroskopie, respektive elektrony dopadají s nulovou energií v případě zrcadlové elektronové mikroskopie.

Zrcadlová elektronová mikroskopie je dosud realizována na principu emisní elektronové mikroskopie s oddělenou osvětlovací a zobrazovací soustavou, kde je preparát umístěn na potenciálu elektronového zdroje, což jest katoda. Jde o velice náročnou metodu zpracování integrálního obrazu.

Vzhledem k stále více se uplatňující rastrovací elektronové mikroskopii vzniká snaha o rozšíření možností této metody do oboru velice nízkých energií dopadu elektronů na preparát až po oblast zrcadlového zobrazování.

Standardní uspořádání rastrovacího elektronového mikroskopu pro práci s nízkou energií dopadu elektronů využívá rovněž, tak jako v případě nízkovoltové elektronové mikroskopie, umístění preparátu na potenciálu katody. Tento přístup je nezbytný, poněvadž elektronové zdroje a soustavy nejsou schopny pracovat s nízkooenergiiovými elektrony. Pro zajištění funkčnosti elektronově optické soustavy je třeba pracovat s elektrony s energií nejméně několik jednotek keV a snížení energie dopadu elektronů na preparát dosáhnout,

jako v případě nízkovoltové elektronové mikroskopie, umístěním preparátu na potenciál blízký nebo rovný potenciálu katody.

Preparát umístěný na jistém potenciálu tvoří pak spolu s poslední elektrodou nebo pólovým nástavcem objektivu dodatečnou elektrostatickou čočku, nazývanou také katodová imersní čočka, v jejímž poli jsou primární elektrony nejprve příslušně zpomaleny a po interakci s preparátem opět v opačném směru urychleny. Je-li potenciál preparátu velmi blízký potenciálu katody, jsou odražené elektrony (BSE) rovněž tak jako emitované sekundární elektrony (SE) soustředěny těsně kolem optické osy mikroskopu a vracejí se tak zpět do optické soustavy po trajektoriích prakticky totožných s trajektoriemi elektronů primárních v opačném směru. Takto urychlené sekundární elektrony nelze detekovat rotačně symetrickým detektorem. Situace se ještě více komplikuje, je-li pro zvýšení rozlišovací schopnosti mikroskopu využito principu magnetické otevřené objektivové čočky (magnetická imersní čočka), jejíž magnetické pole dosahuje až k povrchu preparátu. Sekundární elektrony jsou pak navíc drženy i magnetickým polem v těsné blízkosti optické osy a jejich oddělení od primárních elektronů je v rotačně symetrické soustavě principiálně vyloučeno. Při dostatečně velkém zvětšení je veškerý signál, tedy odražené i sekundární elektrony, veden zpět do optické soustavy tak, že prochází otvory elektrod a pólových nástavců zpět do prostoru katody, aniž by byl zachytitelný za účelem zobrazování.

Z US 6 841 776 je známo řešení pokrývající v první části patentu problém rastrovací elektronové mikroskopie, ale separaci svazku osvětlovacího od signálového řeší pomocí Wienových filtrů, což je kombinace prvků magnetických a elektrostatických. Nevýhodou tohoto uspořádání je, že tato kombinace polí narušuje z principu kvalitu osvětlovacího svazku a tím zhoršuje parametr dosažitelné rozlišovací schopnosti.

Podstata vynálezu

Uvedené nedostatky dosavadního stavu techniky do značné míry eliminuje způsob detekce signálních elektronů v elektronovém mikroskopu, u něhož podstatou vynálezu je, že se na svazky emitovaných primárních elektronů a zpětně emitovaných signálních elektronů působí nad místem dopadu primárního elektronového svazku na pozorovaný předmět třemi za sebou uspořádanými homogenními magnetickými sektorovými poli. Nejdříve, ve směru dráhy emitovaných primárních elektronů, se působí prvním homogenním magnetickým sektorovým polem, jehož vektor magnetické indukce je kolmý na elektronový svazek pro odchýlení svazku emitovaných primárních elektronů jedním směrem. Pak se působí druhým homogenním magnetickým sektorovým polem, jehož vektor magnetické indukce je kolmý na elektronový svazek a protiběžný vůči vektoru magnetické indukce prvního homogenního magnetického sektorového pole pro přichýlení svazku emitovaných primárních elektronů a svazku signálních elektronů opačným směrem k ose optické soustavy. Nakonec se působí třetím homogenním magnetickým sektorovým polem, jehož vektor magnetické indukce je kolmý na elektronový svazek a rovnoběžný s vektorem magnetické indukce prvního homogenního magnetického sektorového pole pro vrácení svazku emitovaných primárních elektronů do optické osy soustavy a vychýlení svazku signálních elektronů od osy optické soustavy po jejich emisi z místa dopadu primárního elektronového svazku na pozorovaný předmět. Poté se snímá svazek signálních elektronů v oblasti třetího nebo druhého homogenního magnetického sektorového pole, v nichž je svazek signálních elektronů odchýlen od dráhy svazku emitovaných primárních elektronů.

Ve výhodném provedení tohoto způsobu se signální elektronový svazek snímá v několika oblastech třetího nebo druhého homogenního magnetického sektorového pole pro oddělené snímání signálních elektronů s různou energií.

Uvedené nedostatky dosavadního stavu techniky rovněž do značné míry eliminuje zařízení pro provádění tohoto způsobu, podle vynálezu, které obsahuje v horním pólovém nastavci objektivové čočky elektronového mikroskopu soustavu magnetických optických hranolů (magnetic prism array), uspořádaných pod sebou ve směru pohybu elektronů ve svazku primárních elektronů v pořadí první magnetický optický hranol, druhý magnetický optický hranol a třetí magnetický optický hranol. Pod těmito magnetickými optickými hranoly je uspořádán rastrovací systém. Mimo optickou osu soustavy pak je uspořádán detektor pro snímání signálních elektronů emitovaných z preparátu. Tento detektor může být s výhodou tvořen scintilátorem navazujícím na světlovod.

Ve výhodném provedení tohoto zařízení pro provádění způsobu pro oddělené snímání signálních elektronů s různou energií obsahuje toto zařízení soustavu magnetických optických hranolů uložených ve stínicím tubusu elektronového mikroskopu a uspořádaných pod sebou ve směru pohybu elektronů ve svazku primárních elektronů v pořadí první magnetický optický hranol, druhý magnetický optický hranol a třetí magnetický optický hranol. Pod soustavou magnetických optických hranolů je uspořádán rastrovací systém. Mimo optickou osu soustavy v několika oblastech třetího a/nebo druhého magnetického optického hranolu pak je uspořádán složený detektor elektronů pro oddělené snímání signálních elektronů s různou energií.

Ve zvláště výhodném provedení tohoto zařízení je v oblasti třetího a/nebo druhého magnetického optického hranolu uspořádán pomocný magnetický optický hranol pro zvětšení vychýlení svazku signálních elektronů.

léčí původní
nápis

Přehled obrázků na výkresech

Vynález bude dále podrobněji popsán podle přiložených výkresů, kde na obr. 1 je schematicky znázorněn princip způsobu detekce signálních elektronů v elektronovém mikroskopu podle vynálezu, na obr. 2 je schematicky znázorněno optické schéma soustavy optických magnetických hranolů pro vytváření

prvního až třetího homogenního magnetického sektorového pole v dispersní rovině, na obr. 3 je schematicky znázorněno optické schéma soustavy z obr. 2 v nedispersní rovině, na obr. 4 je schematicky znázorněno optické schéma soustavy s děleným druhým hranolem v režimu spektrálně selektivním, na obr. 5 je schematicky znázorněno optické schéma soustavy s děleným druhým hranolem v režimu energiově neselektivním, na obr. 6 je schematicky znázorněno optické schéma soustavy asymetricky uspořádaných optických magnetických hranolů vhodné pro širokopásmovou energiově neselektivní detekci, na obr. 7 je schematicky znázorněno optické schéma soustavy asymetricky uspořádaných optických magnetických hranolů vhodné pro snímání energiového spektra, případně integrálního signálu, na obr. 8 je schematicky znázorněno zařízení pro provádění uvedeného způsobu s magnetickým vychylováním a na obr. 9 je schematicky znázorněno zařízení pro provádění uvedeného způsobu s elektrostatickým vychylováním.

*datí původní
nadpis*

uspořádání

Příklady provedení vynálezu

Pro detekci signálu za účelem vytváření obrazu v případě velmi malých, respektive nulových energií dopadu rastrujícího svazku na preparát lze podle vynálezu využít uspořádání osově nesymetrického způsobu detekce jak sekundárních, tak odražených elektronů. K tomu se využívají magnetická sektorová pole či magnetické hranoly, které slouží k oddělení primárního či osvětlovacího elektronového svazku v rastrovacím elektronovém mikroskopu tak, aby byly zpětně se vracející signálové elektrony, a to jak sekundární, tak i odražené, odkloněny od optické osy přístroje bez významného vlivu na trajektorie elektronů primárních. Tento požadavek je nezbytný zvláště pro realizaci zrcadlové rastrovací elektronové mikroskopie, ale je schopen pokrýt i široké energiové spektrum dopadajících elektronů v uspořádání, kdy je na preparát aplikovatelné elektrické předpětí.

Obecně platí, že homogenní magnetické pole působící na pohybující se elektricky nabitě částice, to jest elektrony či ionty, stáčí jejich pohyb po kruhových trajektoriích v rovině kolmé na působící magnetické pole, přičemž směr stáčení je závislý na vzájemné orientaci směru pohybu nabitě částice, směru působení magnetického pole a polaritě náboje.

Z dané skutečnosti plyne, že je možné takové uspořádání optických magnetických hranolů, které je schopné vzájemně oddělit svazek elektronů v jednom směru na preparát dopadajících od svazku elektronů preparát v opačném směru opouštějících.

Základním požadavkem však je, aby nebyla narušena kvalita svazku dopadajícího na preparát tak, aby nedocházelo ke ztrátě rozlišovací schopnosti rastrovacího elektronového mikroskopu a na druhé straně aby odklonění trajektorie signálních elektronů bylo dostatečně velké pro technickou realizovatelnost jejich detekce.

Z vlastností magnetických sektorových polí či optických magnetických hranolů plyne, že v rovině stáčení trajektorií má hranol jistou optickou mohutnost a je schopen například rovnoběžné svazky fokusovat do tvaru lineárního ohniska rovnoběžného se směrem působícího magnetického pole. Fokusace ve směru kolmém na tento lze též dosáhnout pomocí změny úhlu dopadu elektronového svazku na vstupní hranu magnetického hranolu. Lze dokázat, že vhodnou volbou parametrů magnetického hranolu je možno dosáhnout stigmatického zobrazování bodu do bodu.

Další z vlastností optických magnetických hranolů je jejich energiová disperse. To znamená, že například elektrony různých energií mají v příčných magnetických polích odlišné trajektorie a je tedy možné elektrony podle jejich energie rozlišit. Na druhé straně je však možné najít takové uspořádání soustavy optických magnetických hranolů, kdy je energiová disperse potlačena.

Aplikací zvláštním způsobem uspořádané soustavy optických magnetických hranolů na optické ose rastrovacího elektronového mikroskopu

lze dosáhnout vzájemného oddělení trajektorií primárních, to jest osvětlovacích, a zpětně emitovaných, to jest signálních, elektronů tak, že je umožněna detekce těchto elektronů mimo optickou osu soustavy. Tento princip je schematicky znázorněn na obr. 1. Primární elektronový svazek 1 vstupuje do prvního optického magnetického hranolu 2, který ho vychyluje směrem od optické osy 3 soustavy. Takto vychýlený primární elektronový svazek 1 vstupuje do druhého optického magnetického hranolu 4, který ho vychyluje opačným směrem, tedy znovu ho přichyluje k optické ose 3 soustavy. Primární elektronový svazek 1 vstupuje do třetího optického magnetického hranolu 5, který ho vychyluje opačným směrem, tedy znovu ho vychyluje směrem od optické osy 3 soustavy tak, aby na výstupu splýval s optickou osou 3 soustavy. Primární elektronový svazek 1 vybudí na pozorovaném objektu 7 signální elektronový svazek 6 sekundárních nebo odražených elektronů, který vstupuje do optické soustavy opačným směrem než primární elektronový svazek 1. Je-li směr stáčení primárních i signálních elektronů závislý na vzájemné orientaci směru pohybu nabitě částice, směru působení magnetického pole a polaritě náboje, pak je zřejmé, že poněvadž polarita nábojů primárních i signálních elektronů i směr působení magnetického pole na ně jsou totožné, bude to směr pohybu nabitě částice, který je u primárních elektronů oproti signálním elektronům opačný, bude směr stáčení primárních elektronů opačný vůči směru stáčení signálních elektronů, čímž dojde k jejich oddělení. Signální elektronový svazek 6 sekundárních nebo odražených elektronů se tedy v prvním optickém magnetickém hranolu 2, druhém optickém magnetickém hranolu 4 a třetím optickém magnetickém hranolu 5 bude vychylovat na opačnou stranu než primární elektronový svazek 1. Do dráhy signálního elektronového svazku 6 sekundárních nebo odražených elektronů pak lze v místě jeho vychýlení od optické osy 3 soustavy vložit detektor 8, na který pak dopadá signální elektronový svazek 6 sekundárních nebo odražených elektronů, aniž by docházelo k narušení primárního elektronového svazku 1.

Současně lze u takto uspořádané soustavy optických magnetických hranolů dosáhnout úplné kompenzace dispersních vlastností jednotlivých hranolů ve směru pohybu svazku primárních elektronů.

Vhodnou volbou magnetického buzení jednotlivých sekcí hranolů lze dosáhnout navíc nulové optické mohutnosti soustavy tak, že její vložení do dráhy primárního svazku nepřináší žádnou optickou mohutnost, a to v obou na sebe vzájemně kolmých směrech fokusace. Toto je schematicky znázorněno na obr. 2 a 3. Na obr. 2 je znázorněno optické schéma soustavy optických magnetických hranolů 2, 4, 5 pro vytváření prvního až třetího homogenního magnetického sektorového pole v dispersní rovině. Čárkovanými polopřímkami 9 je znázorněn směr primárních elektronových svazků 1, jak by probíhal, pokud by neprocházel soustavou optických magnetických hranolů. Plnými čarami pak je znázorněno, jak dochází k vychýlení primárního elektronového svazku 1 působením soustavy optických magnetických hranolů 2, 4, 5. K pozorovanému objektu 7 přicházejí oba primární elektronové svazky 1, znázorněné čárkovaně i plnou čarou, ve stejném místě. Velikost vychýlení primárního elektronového svazku 1 přitom závisí na energii elektronů. První dílčí primární elektronový svazek 1a obsahuje elektrony s energií nižší než nominální, zatímco druhý dílčí primární elektronový svazek 1b obsahuje elektrony s energií nominální.

Na obr. 3 je totéž schematicky znázorněno, čárkovaně i plnou čarou, v nedispersní rovině.

Dalším strukturováním optických magnetických hranolů 2, 4, 5, například rozdělením druhého optického magnetického hranolu 4, umístěného v soustavě uprostřed, na dvě nezávislé části, lze nezávisle měnit polaritu této části soustavy optických magnetických hranolů 2, 4, 5 a dosáhnout tak například maximálního úhlu odklonění signálního elektronového svazku 6 sekundárních nebo odražených elektronů. Současně se tak posiluje dispersní účinek soustavy optických magnetických hranolů 2, 4, 5 a získává se spektrální rozložení elektronů podle jejich energií. Snadno se tak realizuje oddělená detekce

například sekundárních a odražených elektronů, respektive lze detekovat a analyzovat celé energiové spektrum zpětně emitovaných elektronů. Toto je znázorněno na obr. 4. Primární elektronový svazek 1 vstupuje do prvního optického magnetického hranolu 2, který ho vychyluje směrem od optické osy 3 soustavy. Takto vychýlený primární elektronový svazek 1 vstupuje do druhého optického magnetického hranolu 4, který ho vychyluje opačným směrem, tedy znovu ho přichyluje k optické ose 3 soustavy. Primární elektronový svazek 1 vstupuje do třetího optického magnetického hranolu 5, který ho vychyluje opačným směrem, tedy znovu ho vychyluje směrem od optické osy 3 soustavy tak, aby na výstupu splýval s optickou osou 3 soustavy. Primární elektronový svazek 1 vybudí na pozorovaném objektu 7 signální elektronový svazek 6 sekundárních nebo odražených elektronů, který vstupuje do optické soustavy opačným směrem než primární elektronový svazek 1. Vzhledem k tomu, že směr pohybu elektronů primárního elektronového svazku 1 je opačný než směr signálního elektronového svazku 6 sekundárních nebo odražených elektronů, vychyluje se signální elektronový svazek 6 sekundárních nebo odražených elektronů opačným směrem a dopadá na složený detektor 10 elektronů. Čím větší je energie elektronů, tím méně se vychylují, takže z místa dopadu elektronů na složený detektor 10 elektronů lze usuzovat na jejich energii a vyhodnocením signálu ze složeného detektoru 10 elektronů se získá spektrální rozložení elektronů v signálním elektronovém svazku 6 sekundárních nebo odražených elektronů podle jejich energií. Takto první dílčí signální elektronový svazek 6a je tvořen elektrony s nejvyšší energií, druhý dílčí signální elektronový svazek 6b je tvořen elektrony s nižší energií, třetí dílčí signální elektronový svazek 6c je tvořen elektrony s ještě nižší energií a čtvrtý dílčí signální elektronový svazek 6d, který ani nedopadá na složený detektor 10 elektronů, je tvořen elektrony s nejnižší energií, jako jsou sekundární elektrony.

Změnou buzení nezávislé části centrálního hranolu v opačném smyslu lze energetickou dispersi naopak minimalizovat a zajistit tak detekci veškerého

signálu z preparátu nezávisle na jeho energiovém rozdělení. Toto je schematicky znázorněno na obr. 5.

Pro optimalizaci detekční soustavy v různých aplikačních směrech lze soustavu magnetických hranolů uspořádat i v nesymetrickém sestavení, a to jak v rovině vertikální, tak horizontální. Pro ilustraci lze uvést například uspořádání vhodné pro detekci nejširšího možného energiového rozsahu zpětně emitovaných signálních elektronů, viz obr. 6.

Pro detekci nejširšího možného rozsahu energiového spektra zpětně emitovaných signálních elektronů je možné doplnit strukturu hranolů o pomocný hranol fokusující čárové spektrum v širokém energiovém pásmu do jedné detekční roviny. V této rovině lze spektra snímat buď simultánně, např. mnoha-kanálovým detektorem, nebo vybírat jednotlivé spektrální čáry pomocí pohybu spektra, např. změnou buzení pomocného hranolu, přes pevnou spektrální šterbinu následovanou detektorem. Spektrálně integrální signál lze pak detekovat v rovině kolmé na rovinu spektrální zavedením opačné magnetické polarizace pomocného hranolu, jak je schematicky znázorněno na obr. 7.

Způsob detekce elektronů podle vynálezu lze využít při konstrukci rastrovacích elektronových mikroskopů určených ke zkoumání pozorovaných objektů 7 pomocí velmi pomalých elektronů, respektive elektronů zrcadlících se na povrchu pozorovaného objektu 7. Snížení energie dopadu elektronů na pozorovaný objekt 7 je dosahováno umístěním pozorovaného objektu 7 na vyšší záporný potenciál až do hodnoty potenciálu katody, kdy dochází k zrcadlení dopadajících elektronů a vytváří se elektrostatická imersní čočka.

Na obr. 8 je schematicky znázorněno první příkladné provedení zařízení pro provádění výše popsaného způsobu. Objektivová čočka 11 je opatřena vinutím 12, uspořádaným mezi horním pólovým nástavcem 13 a spodním pólovým nástavcem 14. Toto vinutí 12 objektivové čočky je od vakuové části optické soustavy odděleno přepážkou 15. Uvnitř objektivové čočky 11 je

uspořádaná soustava magnetických optických hranolů 2, 4, 5. Ve směru pohybu elektronů v primárním elektronovém svazku 1 je nejdříve uspořádán první magnetický optický hranol 2, za ním druhý magnetický optický hranol 4 a za ním třetí magnetický optický hranol 5. Soustava magnetických optických hranolů 2, 4, 5 je uložena okolo středové osy objektivové čočky 11, to jest okolo optické osy 3 soustavy, a to ve vnitřním prostoru horního pólového nástavce 13. Pod třetím magnetickým optickým hranolem 5 je uspořádán rastrovací systém 16, což je zpravidla oktupol.

V činnosti tohoto zařízení vstupuje neznázorněný primární elektronový svazek 1 do prvního optického magnetického hranolu 2, který ho vychyluje směrem od neznázorněné optické osy 3 soustavy. Takto vychýlený primární elektronový svazek 1 vstupuje do druhého optického magnetického hranolu 4, který ho vychyluje opačným směrem, tedy znovu ho přichyluje k optické ose 3 soustavy. Primární elektronový svazek 1 vstupuje do třetího optického magnetického hranolu 5, který ho vychyluje opačným směrem, tedy znovu ho vychyluje směrem od optické osy 3 soustavy tak, aby na výstupu splýval s optickou osou 3 soustavy. Primární elektronový svazek 1 po průchodu rastrovacím systémem 16 vybudí na pozorovaném objektu 7 neznázorněný signální elektronový svazek 6 sekundárních nebo odražených elektronů, který vstupuje do optické soustavy opačným směrem než primární elektronový svazek 1. Vzhledem k tomu, že směr pohybu elektronů primárního elektronového svazku 1 je opačný než směr signálního elektronového svazku 6 sekundárních nebo odražených elektronů, vychyluje se signální elektronový svazek 6 sekundárních nebo odražených elektronů opačným směrem a dopadá na neznázorněný detektor 8. Takto je signální elektronový svazek 6 sekundárních nebo odražených elektronů oddělen od primárního elektronového svazku 1, což umožní jeho detekci bez porušení optických vlastností primárního elektronového svazku 1.

Popsané uspořádání lze v případě elektromagnetických objektivových čoček 11 doplnit pro získání špičkového rozlišení ještě o princip otevřené magnetické čočky, čímž dochází k zanoření preparátu do magnetického pole, čímž vzniká magnetická imersní čočka, respektive kombinace elektrostatické a magnetické imersní čočky.

Z principů elektronové optiky pak vyplývá, že sekundární, respektive primární elektrony odražené od povrchu pozorovaného objektu 7, jehož potenciál se blíží potenciálu katody, jsou opět urychlovány elektrostatickým polem, respektive v kombinaci s polem magnetickým tak, že procházejí elektronově optickou soustavou v opačném směru než elektrony primární, přičemž jsou soustředěny velice blízko optické osy 3 soustavy a nemohou být rotačně symetrickým detektorem zaregistrovány, poněvadž procházejí centrálním otvorem detektoru 8 nezbytným pro průchod elektronů primárních. Jejich odchýlení z osové trajektorie není snadno možné, poněvadž jejich energie je totožná, respektive blízká energii elektronů primárních. Při jejich odchylování by byla stejným způsobem narušena trajektorie elektronů primárních a tím by došlo k nevratnému odchýlení rastrujícího svazku z optické osy soustavy. Spekulace s využitím Wienova filtru se zkříženým magnetickým a elektrostatickým polem jsou fyzikálně opodstatněné, ale prakticky nepoužitelné vzhledem k enormně narůstajícím aberacím při odklonu signálních elektronů do nezbytných větších úhlů.

Shora popsané uspořádání s rotačně nesymetrickým detektorem 8 elektronů využívající elektronově optické vlastnosti magnetických optických hranolů 2, 4, 5 představuje systém, který odstraňuje nevýhody jak rotačně symetrických, tak ostatních rotačně nesymetrických detektorů.

Na obr. 9 je schematicky znázorněno druhé příkladné provedení zařízení pro provádění výše popsaneho způsobu. Ve stínicím tubusu 21 elektronového mikroskopu jsou uspořádány první, druhý a třetí magnetický optický hranol 2, 4, 5. Namísto magnetické čočky je zde soustava 17 elektrostatických čoček.

Zařízení je opatřeno pomocným magnetickým optickým hranolem 18, nad nímž je uspořádán světlovod 19 zakončený scintilátorem 20. U pomocného magnetického optického hranolu 18 je uspořádán složený detektor 10 elektronů.

V činnosti tohoto zařízení vstupuje neznázorněný primární elektronový svazek 1 do prvního optického magnetického hranolu 2, který ho vychyluje směrem od neznázorněné optické osy 3 soustavy. Takto vychýlený primární elektronový svazek 1 vstupuje do druhého optického magnetického hranolu 4, který ho vychyluje opačným směrem, tedy znovu ho přichyluje k optické ose 3 soustavy. Primární elektronový svazek 1 vstupuje do třetího optického magnetického hranolu 5, který ho vychyluje opačným směrem, tedy znovu ho vychyluje směrem od optické osy 3 soustavy tak, aby na výstupu splýval s optickou osou 3 soustavy. Primární elektronový svazek 1 po průchodu soustavou 17 elektrostatických čoček vybudí na pozorovaném objektu 7 neznázorněný signální elektronový svazek 6 sekundárních nebo odražených elektronů, který vstupuje do optické soustavy opačným směrem než primární elektronový svazek 1. Vzhledem k tomu, že směr pohybu elektronů primárního elektronového svazku 1 je opačný než směr signálního elektronového svazku 6 sekundárních nebo odražených elektronů, vychyluje se signální elektronový svazek 6 sekundárních nebo odražených elektronů opačným směrem a je i dále vychylován pomocným magnetickým optickým hranolem 18 a dopadá na složený detektor 10 elektronů. Velikost vychýlení elektronů signálního elektronového svazku 6 sekundárních nebo odražených elektronů závisí na jejich energii, elektrony s vysokou energií, např. odražené elektrony, jsou vychýleny nejméně a dopadají tedy na tu část složeného detektoru 10 elektronů, která je vzdálenější od pozorovaného objektu 7, zatímco elektrony s nízkou energií, např. sekundární elektrony, jsou vychýleny nejvíce a dopadají tedy na tu část složeného detektoru 10 elektronů, která je nejbližší k pozorovanému objektu 7. Takto se snadno oddělí signál z odražených elektronů od signálu ze sekundárních elektronů. Je však možné i mnohem jemnější dělení, např. dělení

podle energií pouze sekundárních elektronů ze signálního elektronového svazku 6 sekundárních nebo odražených elektronů.

Vlastní systém detektoru je tedy situován ve vnitřním vrtání horního pólového nástavce 13 co nejbližše magnetické mezeře magnetické čočky. V prostoru mezi čočkou a složeným detektorem 10 elektronů je v daném případě umístěna soustava 17 elektrostatických čoček představující elektrostatický vícepól sloužící k rastrování, respektive ke korekci astigmatismu elektronového svazku. Vlastní magnetická čočka je v tomto případě uzavřená, takže pozorovaný objekt 7 není zanořen v magnetickém poli, ale je pouze připojen na potenciál katody, respektive potenciál jemu blízký. Vlastní senzory signálních elektronů jsou umístěny v tělese složeného detektoru 10 elektronů. Umístění budící cívky čočky dává prostor pro vyvedení obrazového signálu ať již ve formě světla ze scintilačního typu, či ve formě elektrického napětí z detektoru přímo zesilujícího. Elektrostatický rastrovací systém zaručuje, že zpětně emitované elektrony procházejí detektorem po drahách blízkým drahám elektronů primárním, čímž lze dosáhnout velkých zorných polí na straně malých zvětšení a naopak velkého zvětšení a tedy i rozlišení v případě zvětšení velkých.

Spojení shora uvedeného složeného detektoru 10 elektronů spolu s elektrostatickou objektivovou čočkou je zvláště vhodné pro aplikaci rastrovací elektronové mikroskopie v zrcadlovém módu v systémech pracujících ve vysokém vakuu, což jsou zejména systémy pro povrchovou analýzu apod. Detektor je umístěn pod elektronovou tryskou na optické ose 3 soustavy procházející soustavou 17 elektrostatických čoček, umístěnou pokud možno co nejbližše detektoru. Prostor mezi čočkou a detektorem je vhodný pro umístění elektrostatického rastrovacího, respektive korekčního vícepólu, který je rovněž kompatibilní s podmínkami vysokého vakua. Je vhodné celý elektronově optický komplet, tvořený čočkou, rastrovacím vícepólem a detektorem, situovat do magneticky stínícího tubusu 21, aby rušivá vnější magnetická pole nemodifikovala elektronové trajektorie. Typ vlastních elektronových senzorů je

třeba volit s ohledem na případnou potřebu vyhřívání za účelem dosažení nezbytného špičkového vakua.

Průmyslová využitelnost

Způsob detekce elektronů podle vynálezu lze využít při konstrukci rastrovacích elektronových mikroskopů určených ke zkoumání pozorovaných objektů 7 pomocí velmi pomalých elektronů, respektive elektronů zrcadlících se na povrchu pozorovaného objektu 7.

2013-2014

Seznam vztahových značek

- 1 - primární elektronový svazek
- 2 - první optický magnetický hranol
- 3 - optická osa soustavy
- 4 - druhý optický magnetický hranol
- 5 - třetí optický magnetický hranol
- 6 - signální elektronový svazek sekundárních nebo odražených elektronů
- 7 - pozorovaný objekt
- 8 - detektor
- 9 - čárkované polopřímky
- 10 - složený detektor elektronů
- 11 - objektivová čočka
- 12 - vinutí objektivové čočky
- 13 - horní pólový nástavec objektivové čočky
- 14 - spodní pólový nástavec objektivové čočky
- 15 - přepážka
- 16 - rastrovací systém
- 17 - soustava elektrostatických čoček
- 18 - pomocný magnetický optický hranol
- 19 - světlovod
- 20 - scintilátor
- 21 - stínicí tubus

Patentové nároky

1. Způsob detekce signálních elektronů v elektronovém mikroskopu, **v y - z n a ě u j í c í s e t í m**, že se na emitovaný primární elektronový svazek (1) a zpětně emitovaný signální elektronový svazek (6) sekundárních nebo odražených elektronů působí nad místem dopadu primárního elektronového svazku (1) na pozorovaný objekt (7) nejdříve, ve směru dráhy emitovaných primárních elektronů, prvním homogenním magnetickým sektorovým polem, jehož vektor magnetické indukce je kolmý na optickou osu (3) soustavy pro odchýlení emitovaného primárního elektronového svazku (1) jedním směrem, pak druhým homogenním magnetickým sektorovým polem, jehož vektor magnetické indukce je kolmý na optickou osu (3) soustavy a protiběžný vůči vektoru magnetické indukce prvního homogenního magnetického sektorového pole pro přichýlení svazku emitovaných primárních elektronů a svazku signálních elektronů opačným směrem k optické ose (3) soustavy a pak třetím homogenním magnetickým sektorovým polem, jehož vektor magnetické indukce je kolmý na optickou osu (3) soustavy a souběžný s vektorem magnetické indukce prvního homogenního magnetického sektorového pole pro vrácení emitovaného primárního elektronového svazku (1) do optické osy (3) soustavy a vychýlení signálního elektronového svazku (6) sekundárních nebo odražených elektronů od osy (3) optické soustavy po jejich emisi z místa dopadu primárního elektronového svazku (1) na pozorovaný objekt (7), načež se snímá signální elektronový svazek (6) sekundárních nebo odražených elektronů v oblasti třetího nebo druhého homogenního magnetického sektorového pole, v nichž je signální elektronový svazek (6) sekundárních nebo odražených elektronů odchýlen od dráhy emitovaných primárních elektronů primárního elektronového svazku (1).

2. Způsob detekce signálních elektronů v elektronovém mikroskopu podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že se signální elektronový svazek (6) sekundárních nebo odražených elektronů snímá v několika oblastech třetího nebo druhého homogenního magnetického sektorového pole pro oddělené snímání signálních elektronů s různou energií.

3. Zařízení pro provádění způsobu podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že obsahuje v horním pólovém nástavci (13) objektivové čočky elektronového mikroskopu soustavu magnetických optických hranolů (2, 4, 5), uspořádaných pod sebou ve směru pohybu elektronů v primárním elektronovém svazku (1) v pořadí první magnetický optický hranol (2), druhý magnetický optický hranol (4) a třetí magnetický optický hranol (5), pod nimiž je uspořádán rastrovací systém (16), přičemž mimo optickou osu (3) soustavy je uspořádán detektor (8) pro snímání signálních elektronů emitovaných z pozorovaného objektu (7).

4. Zařízení pro provádění způsobu podle nároku 2, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že obsahuje soustavu magnetických optických hranolů (2, 4, 5) uložených ve stínicím tubusu (21) elektronového mikroskopu a uspořádaných pod sebou ve směru pohybu elektronů v primárním elektronovém svazku (1) v pořadí první magnetický optický hranol (2), druhý magnetický optický hranol (4) a třetí magnetický optický hranol (5), pod nimiž je uspořádán rastrovací systém (16), přičemž mimo optickou osu (3) soustavy v několika oblastech třetího a/nebo druhého magnetického optického hranolu (5 a/nebo 4) je uspořádán složený detektor (10) elektronů pro oddělené snímání signálních elektronů s různou energií.

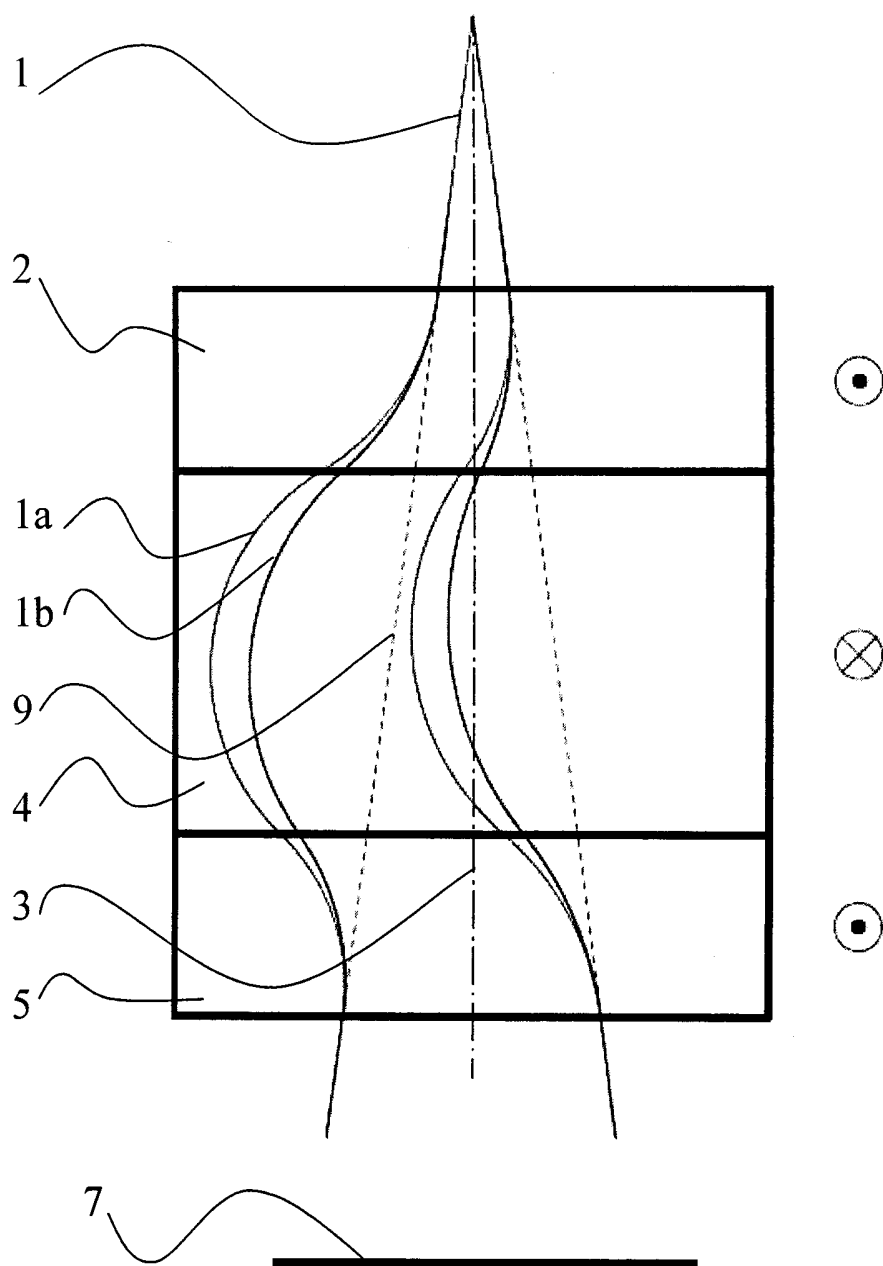
5. Zařízení podle nároku 4, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že v oblasti třetího a/nebo druhého magnetického optického hranolu (5 a/nebo 4) je uspořádán

pomocný magnetický optický hranol (18) pro zvětšení vychýlení signálního elektronového svazku (6) sekundárních nebo odražených elektronů.

6. Zařízení podle nároku 3, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že detektor (8) je tvořen scintilátorem (20) navazujícím na světlovod (19).



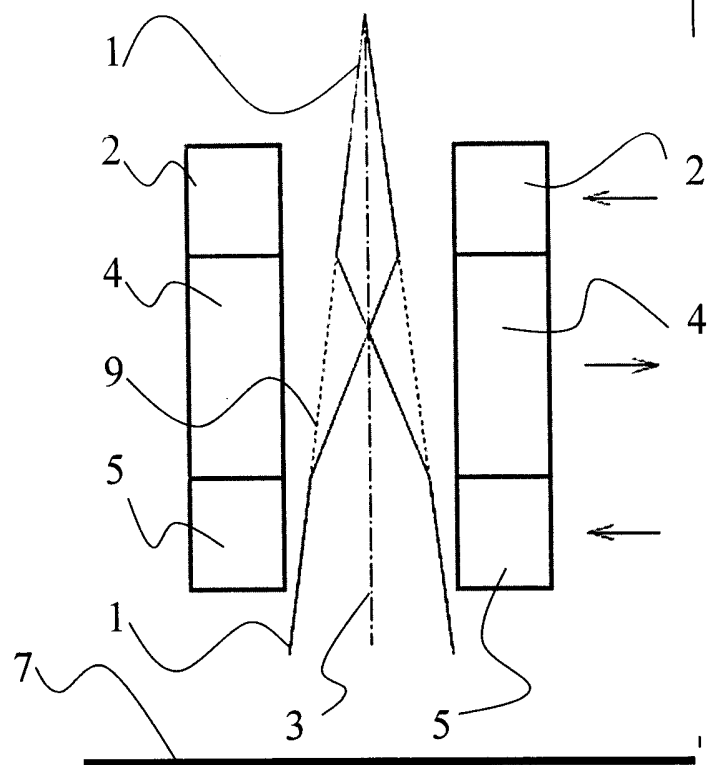
Obr. 1



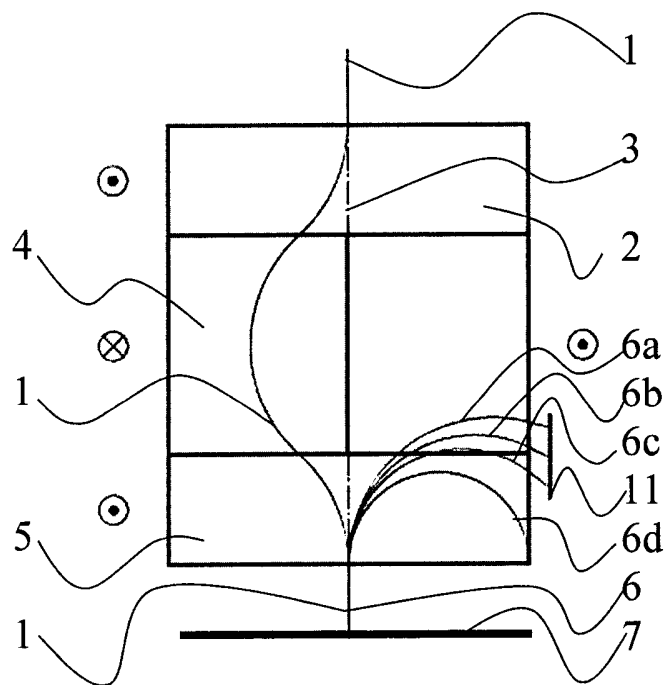
Obr. 2

2/7

2013-293



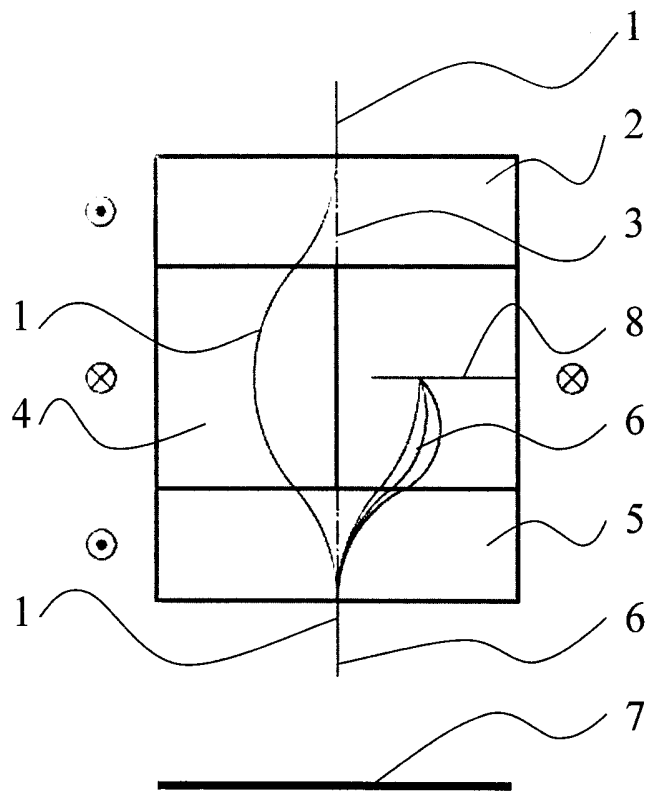
Obr. 3



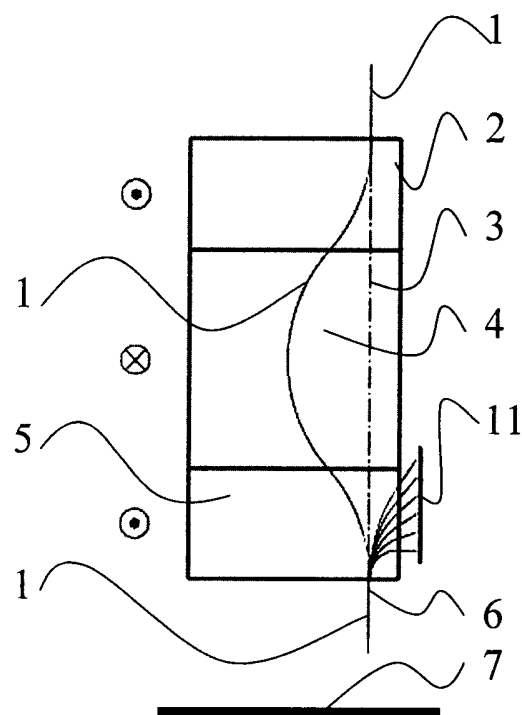
Obr. 4

4/7:

2013-293



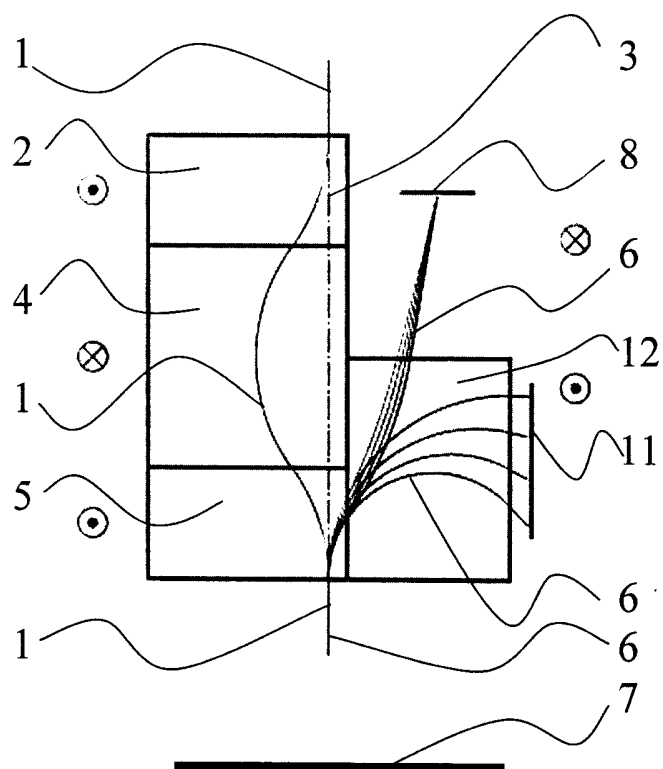
Obr. 5



Obr. 6

567

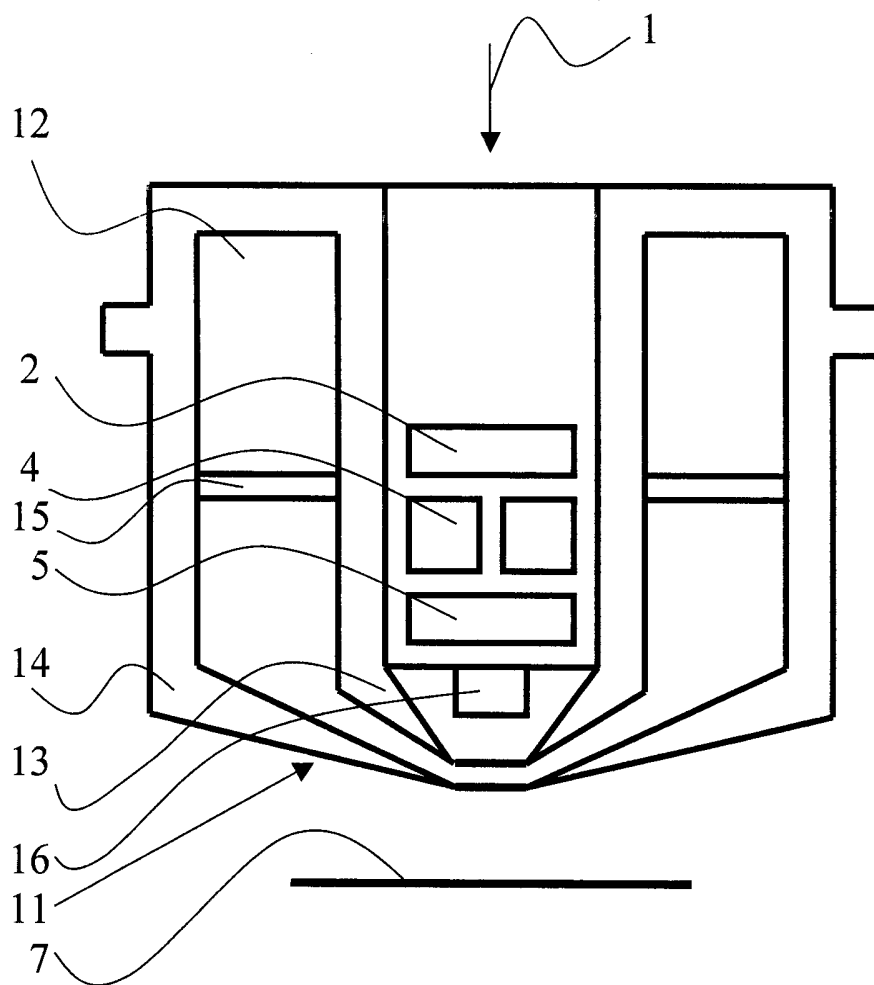
2013-293



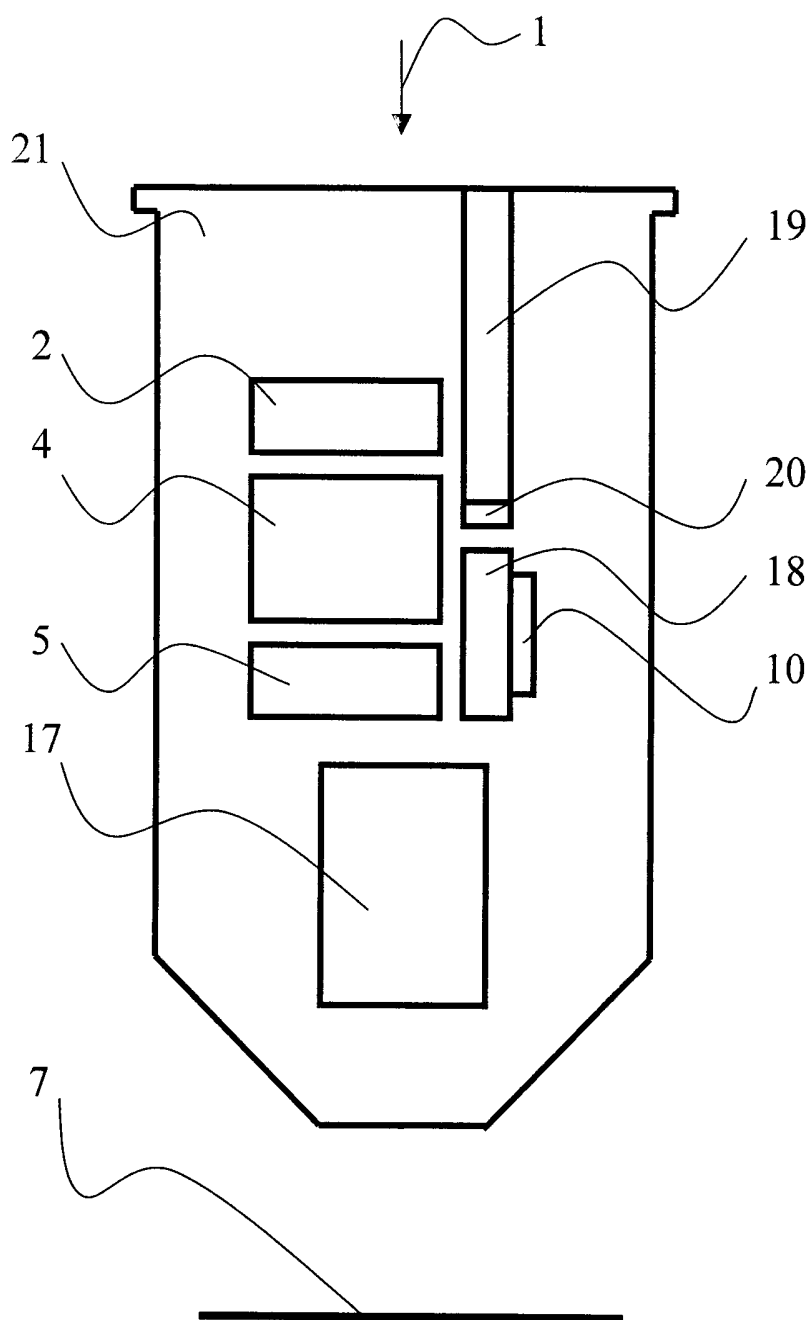
Obr. 7

6/7

2013-293



Obr. 8



Obr. 9