

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2014-373

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

H01J 37/285 (2006.01)
H01J 37/24 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **02.06.2014**
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **09.12.2015**
(Věstník č. 49/2015)

(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

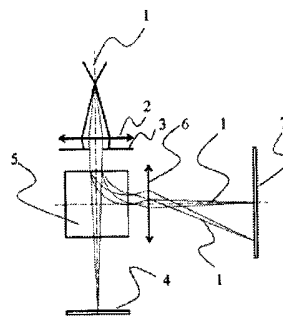
spektra energiového rozdělení elektronové emise.

(54) Název přihlášky vynálezu.

**Způsob měření energiového rozdělení emise
elektronů z katod s malým virtuálním
zdrojem a energiový spektrometr pro
provádění tohoto způsobu**

(57) Anotace:

Elektronový svazek (1) ve vakuovém prostředí se nejdříve prvním magnetickým polem (2) zaostří, vymezí se velikost aperturního úhlu elektronového svazku (1), který se pak druhým magnetickým polem (5) vyhne do strany. Vyhnutý elektronový svazek (1) se třetím magnetickým polem (6) rozšíří. Načež se odečte a vyhodnotí čárové spektrum vytvořené rozšířeným elektronovým svazkem (1) na scintilačním průhledovém stínítku (7). Energiový spektrometr obsahuje elektronovou trysku (8) s katodou s malým virtuálním zdrojem, k níž se přiřadí kondensorová čočka (9) pro zaostření elektronového svazku (1) emitovaného z elektronové trysky (8). Za ní ve směru optické osy (10) energiového spektrometru je uspořádána clona (3) pro optimalizaci průměru elektronového svazku (1) před jeho vstupem do magnetického hranolu (11) pro vychýlení elektronového svazku (1), uspořádaného za clonou (3) ve směru optické osy (10) energiového spektrometru. Za ním ve směru optické osy (10) energiového spektrometru je uspořádáno první scintilační průhledové stínítko (4) pro umožnění kontroly zaostření elektronového svazku (1). Za magnetickým hranolem (11) ve směru optické osy (10) magnetickým hranolem (11) vychýleného elektronového svazku (1) je uspořádána projektorová čočka (12) pro zvětšení rozměru spektra. Za projektorovou čočkou (12) je uspořádáno druhé scintilační průhledové stínítko (7) pro zobrazení čárového



CZ 2014 - 373 A3

Způsob měření energiového rozdělení emise elektronů z katod s malým virtuálním zdrojem a energiový spektrometr pro provádění tohoto způsobu

Oblast techniky

Vynález se týká způsobu měření energiové šířky emitovaných elektronů ze zdrojů, jejichž virtuální velikost nepřesahuje 100 nm.

Dosavadní stav techniky

Současná elektronová mikroskopie, jak prozařovací tak i rastrovací, využívá jako zdroje elektronů převážně katody, jejichž emisní mechanismus je založen na efektech čistě tunelových, respektive tunelových stimulovaných zvýšením teploty emitéru. Takovéto zdroje elektronů vykazují mnohonásobně větší směrovou proudovou hustotu elektronového svazku, čímž umožňují dosáhnout výrazně lepšího poměru signálu k šumu při formování elektronově optického obrazu. Navíc tyto emitéry představují v principu bodové zdroje, z jejichž středu elektrony zdánlivě vycházejí. Velikost tohoto zdánlivého bodu, nazývaného „virtuální zdroj“ je dle konkrétního uspořádání v rozmezí 1 až 100 nm.

Takovéto malé rozměry virtuálního zdroje jsou výhodné v oboru prozařovací elektronové mikroskopie proto, že koherence osvětlovacího elektronového svazku je vysoká a dovoluje dosahovat optimálních hodnot fázového kontrastu. V oboru rastrovací elektronové mikroskopie je malý rozměr virtuálního zdroje zásadním parametrem umožňujícím snížit počet elektronově optických zmenšovacích prvků na minimum a získat takto výhodnější poměr mezi finálním rozměrem zaostřeného svazku a jeho elektronovým proudem.

Malý rozměr virtuálního zdroje vzniká vždy, kdy je využíváno mimo tepelného procesu emise elektronů také procesu tunelování elektronů z povrchu katody do vakua díky vysokému gradientu elektrostatického pole před povrchem emitéru. Takto vysokého gradientu elektrostatického pole se dosahuje pomocí zahrocení vrcholu katody do tvaru kužele zakončeného kulovým vrchlíkem, jehož poloměr se pohybuje v rozmezí od $R = 10 \text{ nm}$ až $R = 1000 \text{ nm}$. Elektrony emitované z kulové plochy vrchlíku kužele jsou nejprve velkým gradientem elektrostatického pole z kovového materiálu katody uvolněny do vakua (díky procesu tunelování zúženou potenciálovou bariérou) a potom urychleny na velmi krátké dráze ve směru radiálním ke kulovému vrchlíku. Takto vytvořené katody se někdy nazývají hrotové. Elektrony virtuálně vyletují z fiktivního středu kulového vrchlíku. Rozměr tohoto bodu (virtuálního zdroje) je funkcí skutečného poloměru a tvaru kulového vrchlíku a navíc teploty katody, při které k emisi elektronů dochází. Větší poloměr vrchlíku a vyšší teplota katody vede zákonitě ke zvětšení rozměru virtuálního zdroje. V současné době nejčastěji používané katody mají rozměry virtuálního zdroje počínaje od 2 nm (ostré autoemisní katody pracující při pokojové teplotě, nebo nižší) po 25 nm (termo-autoemisní katody s poloměrem hrotu 1000 nm pracující při teplotách 1800 K).

Všechny katody typu „hrotových“ pracují v přímém emisním módu. To znamená, že nevyužívají prostorového elektrostatického náboje k formování reálného křížiště elektronového svazku, ale naopak pracují přímo s velikostí virtuálního zdroje. Z tohoto plyne, že i elektronově optická soustava se zmenšením pouze 1:1 je schopna vytvořit na svém výstupu elektronový svazek v principu nanometrových rozměrů. I přes tuto výhodu je stále důležitým parametrem energiová šířka emitovaných elektronů. Tento energiový rozptyl od 0.3 eV (studené katody) do např. 5 eV (velmi proudově zatížené termo-autoemisní katody) zapříčiňuje zhoršení parametrů elektronového svazku (rozostření) jako důsledek chromatické vady elektronově optických elementů.

Z tohoto důvodu je nutné zabývat se energiovým rozdělením elektronů ve svazku jak osvětlovacím, tak zobrazovacím a hledat metody, jak tento nepříznivý vliv omezit. Prvním předpokladem jak hodnotit z hlediska energiové šířky vlastní emitéry je sestavit metrologické zařízení (energieový spektrometr), schopné měřit energiovou šířku elektronového svazku s rozlišením jednotek až desítek mV. Takovéto metrologické zařízení by pak sloužilo nejenom k vyhodnocení jednotlivých typů emitérů, ale současně i k ověření funkce případných monochromátorů určených k omezení energiové šířky emitovaných elektronů a tím i k omezení vlivu chromatické vady elektronové optiky na zobrazovací vlastnosti systému.

Současně používaná zařízení tohoto typu dosahující potřebného energiového rozlišení v oblasti blízko 5 mV jsou velice nákladná a většinou nejsou určena k měření charakteristik elektronových zdrojů. Jedním z možných řešení je například využití spektrometru energiových ztrát (EELS), kterým bývají vybaveny prozařovací, respektive rastrovací prozařovací mikroskopy nejvyšší cenové kategorie. Tyto spektrometry jsou však určeny ke zkoumání energiových ztrát primárního svazku způsobených interakcí elektronů s materiálem studovaného preparátu, ale nejsou určeny k rutinní vývojové práci v oblasti elektronových zdrojů.

Je známo několik zařízení a způsobů zabývajících se energiovou ztrátou elektronů, zpravidla v elektronových mikroskopech. Například z EP 2 708 874 FEI Company je znám způsob vytváření tomografického zobrazení vzorku v částicovém mikroskopu, v němž se vzorek naklání vůči elektronovému svazku elektricky nabitých částic, zpravidla protonů nebo iontů. Obrazy získané v této první sadě se pak matematicky kombinují pro získání kompozitního obrazu. V následujícím postupu se spektrálním detektorem sejme druhá sada obrázků při různých náklonech vzorku pro získání spektrálních map, které se následně použijí pro získání kompozitního obrazu. Nezkoumá se zde tedy kvalita

elektronového svazku, ale až signál obsahující již obraz vzorku. Tento způsob tedy nelze využít pro měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem v dostatečném rozlišení.

Z EP 2 387 062 FEI Company jsou známy detektory pro elektronově optický systém, umožňující detekci elektronů v různých energiových rozsazích, a způsob analýzy vzorku, kdy elektrony prošlé vzorkem jsou rozptýlkou rozděleny do dvou energiových pásem a jsou detekovány dvěma detektory, z nichž druhý je uspořádán za rozptýlkou a jeho signál je úměrný počtu elektronů ve druhém energiovém pásmu, přičemž tento druhý detektor je umístěn mezi rozptýlkou a elektronovou optikou používanou pro projekci elektronů vyzařovaných vzorkem k prvnímu detektoru. Ani tento způsob nelze využít pro měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem v dostatečném rozlišení, neboť i zde se zkoumá energiový rozptyl elektronů prošlých vzorkem.

Z JP H06310063 Hitachi Ltd. je známo elektronově optické zařízení měřící spektrum ztráty energie elektronů po průchodu vzorkem soustavou fotodiod nebo lineárním CCD čidlem. Toto zařízení nezkoumá kvalitu elektronového svazku, ale zjišťuje spektrální obraz vzorku. Proto ani tento způsob nelze využít pro měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem v dostatečném rozlišení.

Z JP H0721966 Hitachi Ltd. je znám analytický prozařovací elektronový mikroskop umožňující kromě pozorování obrazu vzorku i elementární analýzu malé části vzorku. Tento mikroskop je schopen analyzovat energiovou ztrátu elektronů v malé části vzorku elektromagnetem a současně provést spektrální analýzu planárním detektorem. Ani toto zařízení nezkoumá kvalitu elektronového svazku, ale zjišťuje spektrální obraz vzorku. Proto ani tento

způsob nelze využít pro měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem v dostatečném rozlišení.

Podstata vynálezu

Uvedené nedostatky dosavadního stavu techniky do značné míry odstraňuje způsob měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem, uspořádaných ve vakuu, jehož podstatou je, že elektronový svazek ve vakuovém prostředí se nejdříve prvním magnetickým polem zaostří a pro minimalizaci aberace se vymezí velikost aperturního úhlu elektronového svazku, který se pak druhým magnetickým polem vyhne do strany, vyhnutý elektronový svazek se třetím magnetickým polem rozšíří, načež se odečte a vyhodnotí čárové spektrum vytvořené rozšířeným elektronovým svazkem na scintilačním průhledovém stínítku.

Ve výhodném provedení tohoto způsobu se před vyhodnocením čárového spektra vytvořeného rozšířeným elektronovým svazkem na scintilačním průhledovém stínítku čárové spektrum opticky zvětší.

Uvedené nedostatky dosavadního stavu techniky do značné míry rovněž odstraňuje energiový spektrometr pro měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem, uspořádaných ve vakuu, jehož podstata je dále popsána. Tento energiový spektrometr obsahuje katodu s malým virtuálním zdrojem. K ní je přiřazena kondensorová čočka pro zaostření elektronového svazku emitovaného z katody s malým virtuálním zdrojem. Za kondensorovou čočkou je ve směru optické osy energiového spektrometru uspořádaná clona pro optimalizaci průměru elektronového svazku před jeho vstupem do magnetického hranolu pro vychýlení elektronového svazku, uspořádaného za clonou ve směru optické osy energiového spektrometru. Za magnetickým hranolem je ve směru optické osy

energieového spektrometru uspořádáno první scintilační průhledové stínítko pro umožnění kontroly zaostření elektronového svazku. Za magnetickým hranolem ve směru optické osy magnetickým hranolem vychýleného elektronového svazku je uspořádána projektorová čočka pro zvětšení rozměru spektra. Za projektorovou čočkou ve směru optické osy vychýleného elektronového svazku je uspořádáno druhé scintilační průhledové stínítko pro zobrazení čárového spektra energieového rozdělení elektronové emise.

Ve výhodném provedení energieového spektrometru podle vynálezu je za druhým scintilačním průhledovým stínítkem pro zobrazení čárového spektra energieového rozdělení elektronové emise uspořádán optický objektiv.

V jiném výhodném provedení energieového spektrometru podle vynálezu je pak k optickému objektivu přiřazena fotografická kamera.

Přehled obrázků na výkresech

Vynález bude dále podrobněji popsán na přiložených výkresech, kde na obr. 1 je schematicky znázorněn způsob měření energieového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem a na obr. 2 je schematicky znázorněn energieový spektrometr pro měření energieového rozdělení elektronové emise z elektronové trysky.

Příklady provedení vynálezu

V současné době perspektivní elektronové zdroje jsou tvořené hrotovými katodami typů autoemisních, respektive termo-autoemisních, a v této oblasti je z principu zaručeno, že rozměry virtuálních emisních zdrojů nepřekročí hranici

100 nm. Toto je relativně výhodná situace, poněvadž extrémně malý rozměr virtuálního zdroje nabízí relativně jednoduché řešení spektrometru založeného na dispersních vlastnostech magnetického sektorového pole či magnetického hranolu.

Účelem vynálezu je takové uspořádání elektronového spektrometru, které umožňuje měření energiové šířky emitovaných elektronů libovolného elektronového zdroje pracujícího s hrotovými katodami, a to buď přímo, nebo po monochromatizaci elektronového svazku.

To znamená, že pokud je velikost virtuálního zdroje menší než 100 nm, lze uspořádat tři základní elektronově optické prvky, to jest pomocný kondensor, magnetický hranol a projektor tak, aby v daném případě pracovaly s energiovým rozlišením, v závislosti na vlastní velikosti virtuálního zdroje, řádově v jednotkách mV.

Tato možnost velmi zjednodušeného a přitom efektivního uspořádání energiového spektrometru vyplývá ze skutečnosti, že i vzhledem k velmi malé energiové dispersi magnetických hranolů, řádově jednotek $\mu\text{m}/\text{V}$ lze díky malému rozměru obrazu virtuálního zdroje, řádově jednotek nm, dosáhnout v dispersní rovině rozlišení až 1000 čar na volt, což představuje teoretickou rozlišovací schopnost 1 mV.

Na obr. 1 je schematicky znázorněn způsob měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem, uspořádaných ve vakuu. Elektronový svazek 1 ve vakuovém prostředí se prvním magnetickým polem 2 zaostří a pro minimalizaci aberace se clonou 3 vymezí velikost aperturního úhlu elektronového svazku 1. Elektronový svazek 1 se přitom zaostří na prvním scintilačním průhledovém stínítku 4. Po zaostření elektronového svazku 1 se aktivuje druhé magnetické pole 5, kterým se elektronový svazek 1 vyhne do strany. Vyhnutý elektronový svazek 1 se pak

třetím magnetickým polem 6 rozšíří, načež se odečte a vyhodnotí čárové spektrum vytvořené rozšířeným elektronovým svazkem 1 na druhém scintilačním průhledovém stínítku 7. Toto čárové spektrum vytvořené rozšířeným elektronovým svazkem 1 na druhém scintilačním průhledovém stínítku 7 je pak možné ještě opticky zvětšit pro dosažení lepšího rozlišení.

Na obr. 2 je schematicky znázorněn energiový spektrometr pro měření energiového rozdělení elektronové emise z elektronové trysky 8 obsahující katodu s malým virtuálním zdrojem, uspořádané ve vakuu. V příkladném provedení byla použita hrotová katoda umístěná na svislé optické ose libovolně vzdálená od spektrometru a pracující v optimálním pracovním módu. K ní je přiřazena kondensorová čočka 9 pro zaostření elektronového svazku 1 emitovaného z malého virtuálního zdroje elektronové trysky 8. Za kondensorovou čočkou 9 je ve směru optické osy 10 energiového spektrometru uspořádaná clona 3 pro optimalizaci průměru elektronového svazku 1 před jeho vstupem do magnetického hranolu 11 pro vychýlení elektronového svazku 1, uspořádaného za clonou 3 ve směru optické osy 10 energiového spektrometru. Clona 3 je výměnná clona pro optimalizaci velikosti vstupního úhlu do spektrometru tak, aby byly eliminovány optické aberace magnetického hranolu.

Za magnetickým hranolem 11 je ve směru optické osy 10 energiového spektrometru uspořádáno první scintilační průhledové stínítko 4 pro umožnění kontroly zaostření elektronového svazku 1. Za magnetickým hranolem 11 ve směru optické osy 10 magnetickým hranolem 11 vychýleného elektronového svazku 1 je uspořádána projektorová čočka 12 pro zvětšení rozměru spektra. Za projektorovou čočkou 12 ve směru optické osy 10 vychýleného elektronového svazku 1 je uspořádáno druhé scintilační průhledové stínítko 7 pro zobrazení čárového spektra energiového rozdělení elektronové emise. Druhé scintilační

průhledové stínítko **7** je na vodorovné optické ose následováno příslušným světelně optickým zvětšovacím a registračním systémem určeným pro fotometrické vyhodnocení získaných elektronových spekter.

Výhodou navrženého uspořádání je relativní jednoduchost celého zařízení, což může vést k jeho lepší dostupnosti. Jak již bylo popsáno, jádrem spektrometru je pravoúhlý magnetický hranol **11** s kolmým vstupem i výstupem elektronových svazků vzájemně pootočených o úhel 90° . Takovýto magnetický hranol **11** zajišťuje vytvoření homogenního magnetického pole, které má schopnost fokusovat elektrony v rovině kolmé na směr homogenního magnetického pole a naopak nefokusovat elektrony ve směru magnetického pole. Tímto fyzikálním mechanismem jsou vytvořeny základní podmínky ke vzniku čárového elektronového spektra proto, že elektrony s jinou energií jsou v rovině kolmé na směr magnetického pole fokusovány do jiného místa spektrální plochy. Pro, například dvě, rozdílné energie elektronového svazku **1** vzniknou po průchodu magnetickým hranolem **11** dvě spektrální čáry, jejichž vzájemná vzdálenost bude úměrná jejich energiovému rozdílu. Schopnost separovat jednotlivé energiové svazky se nazývá energiová disperse.

Zásadním problémem je, že energiová disperse magnetických hranolů **11** je relativně malá a činí jednotky μm na V. Snímání takového spektra metodami přímého měření elektronového proudu v jednotlivých spektrálních čarách je velice nevýhodné, poněvadž rozměry příslušných selektivních clon, respektive detektorů, by musely být realizovány v nanometrových rozměrech, pokud je třeba dosahovat energiové rozlišovací schopnosti řádově v jednotkách mV. Tato okolnost vede k uspořádání, které využívá dalšího stupně zvětšení celého spektra cestou elektronově optickou. Umístění výkonné projektorové čočky **12** za výstupní hranou magnetického hranolu **11** dovoluje přenést obraz spektrální roviny zvětšený až 50 x na plochu průhledového scintilačního stínítka

7 s vysokým rozlišením. Takto jsou vytvořeny podmínky k dalšímu kroku snímání prostřednictvím fotometrických metod.

Energiový spektrometr pro měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem je sestaven ve vakuové komoře s vysokým vakuem opatřené nezávislými čerpacími prostředky. Druhé scintilační průhledové stínítko 7 je již na atmosférické straně opatřeno neznázorněným držákem vhodného optického objektivu následovaného kamerou.

Vstupní strana tohoto energiového spektrometru, nad kondenzorovou čočkou 9, je opatřena vakuovým mezikusem 13, což je pomocná příruba, umožňující připojení různých typů elektronových trysek 8 splňujících podmínky existence malého virtuálního emisního zdroje.

Elektronické vybavení zajišťuje možnost nezávislého buzení obou magnetických čoček i magnetického hranolu 11 tak, aby bylo možno obsáhnout měření v širokém spektru energií, typicky od 1 do 30 keV.

Vzdálenost vlastního emitéru, tedy elektronové trysky 8, od vstupní clony 3 spektrometru není omezena rovněž tak, jako pracovní mód vlastní elektronové trysky 8, která může vytvářet divergentní, paralelní nebo konvergentní elektronový svazek 1. Spektrometr v navrhovaném uspořádání může obsáhnout měření na širokém typovém spektru elektronových trysek 8 respektive elektronových trysek 8 doplněných monochromátorem libovolného typu.

Podstata vynálezu tak spočívá v použití jedné universální kondensorové čočky 9 určené pro upravení parametrů vstupního elektronového svazku 1 do spektrometru, a to z různých typů elektronových trysek 8 pracujících v různých režimech, která je následovaná šterbinovou clonou 3 pro vymezení velikosti aperturního úhlu elektronového svazku 1 před vstupem do oblasti magnetického

pole magnetického hranolu 11. Magnetický hranol 11 na základě svých energiově dispersních vlastností, kdy úhel zahnutí elektronového svazku 1 je 90° , vytvoří na svém výstupu čárové spektrum elektronů, přičemž tloušťka spektrální čáry pro jednu danou energii se bude zhruba rovnat velikosti virtuálního zdroje zkoumaného emitéru, to jest elektronové trysky 8, a bude tedy v jednotkách nm. Vzhledem k dispersní mohutnosti magnetického hranolu 11 bude vzdálenost spektrální čáry s energií o 1 eV vyšší řádově několik μm od původní. Je tedy možné tvrdit, že lze 1 eV změny energie zkoumat s potenciální rozlišovací schopností až 1000 čar na 1 eV.

Takto komprimované elektronové spektrum je však obtížné monitorovat. Nabízí se proto možnost zvětšit příslušnou elektronovou projekční čočkou toto spektrum například 50 x tak, aby po projekci na příslušném vysokorozlišovacím průhledovém stínítku vznikl obraz spektra snímatelný již prostředky světelné mikroskopie ve spolupráci s příslušnou kamerou. Vzhledem k omezeným možnostem zvětšování světelně optickým prvkem a kamerou lze za racionální dosažitelnou hranici energiového rozlišení považovat hodnotu 5 mV.

Přitom vlastní elektronově optické zvětšení primárního spektra vede sice i ke zvětšení obrazu virtuálního zdroje, ale nevede tím ke zmenšení dispersního poměru. Obraz virtuálního zdroje je zvětšen právě tolikrát, kolikrát dispersní rozsah.

Dále je zřejmé, že magnetický hranol 11 s kolmým dopadem i výstupem elektronového svazku 1 fokusuje elektronový svazek 1 pouze v rovině kolmé na směr homogenního magnetického pole. V rovině rovnoběžné se směrem magnetického pole magnetický hranol 11 nefokusuje a zachovává si tedy přirozenou divergenci elektronového svazku 1 odpovídající situaci před vstupem do magnetického hranolu 11. Toto je tedy mechanismus vzniku čárového spektra. Velkou výhodou je, že při fotometrickém měření šířky spektrálních čar lze toto měření opakovat mnohokrát, tedy v každém místě spektrální čáry, a

získané výsledky statisticky zpracovat a konečný výsledek tak očistit od vlivů statistického šumu. Je nasnadě provést měření například v každém z 1024 sloupců monitoru a získat takto relativně velký statistický soubor.

Vlastní energiovou kalibraci elektronového spektrometru je výhodné provádět před každým měřením šířky spektrální čáry. Pro různé nastavení buzení jak kondensorové čočky 9, tak projektorové čočky 12, respektive čočky spojené s měřenou elektronovou tryskou 8, bude hodnota kalibrace různá. Metoda kalibrace u popsaného systému je založena na prosté změně energie elektronového svazku o například ± 5 eV a zjištění počtu pixelů obě spektrální čáry dělící. Tímto procesem dostaneme jednoznačnou kalibrační konstantu ve voltech na pixel pro právě aktuální nastavení systému.

Ukazuje se, že největšího pokroku v oboru elektronové mikroskopie za posledních 30 let bylo dosaženo díky vývoji nových typů elektronových zdrojů. Jedná se především o zdroje s velkým jasnem, které jsou schopny dodávat maximální možný proud elektronů do minimálních průměrů svazků. Již tato okolnost napovídá, že fyzikální hranice těchto vývojových kroků leží v oblasti vzájemného elektron-elektronového působení, které nejenže elektronový svazek prostorově „rozpuzuje“, ale radikálně mění i jeho energiovou šířku. Změna tohoto důležitého parametru je závislá na způsobu, jak vzniká samotná emise elektronů, ale i na způsobu vedení elektronového svazku za emitérem. Příkladem rizikových řešení mohou být nadbytečná křižiště svazku, oblasti šíření svazku v paralelním režimu a snižování celkové energie svazku, které je stále více aktuální vzhledem k různým typům aplikace, např. pro polovodičový průmysl, pozorování genetických struktur, a podobně.

Do budoucna je velmi důležitá možnost verifikace účinku nově vyvíjených systémů pro monochromatizaci elektronových svazků. Ty budou stále více používány jako korektory vlivu chromatické vady, která je jednou z hlavních příčin nemožnosti dosahovat vyššího rozlišení v elektronových

mikroskopech jak prozařovacího, tak rastrovacího, respektive prozařovacího rastrovacího typu.

Průmyslová využitelnost

Využití shora popsaného sestavení elektronového spektrometru se předpokládá v laboratořích úzce spolupracujících se skupinami vývoje elektronových zdrojů.

Patentové nároky

1. Způsob měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem, uspořádaných ve vakuu, u něhož se elektronový svazek (1) ve vakuovém prostředí nejdříve prvním magnetickým polem (2) zaostří, vymezí se velikost aperturního úhlu elektronového svazku (1), **vyznačující se tím**, že se takto upravený elektronový svazek (1) druhým magnetickým polem (5) vyhne do strany, vyhnutý elektronový svazek (1) se třetím magnetickým polem (6) rozšíří, načež se odečte a vyhodnotí čárové spektrum vytvořené rozšířeným elektronovým svazkem (1) na scintilačním průhledovém stínítku (7).

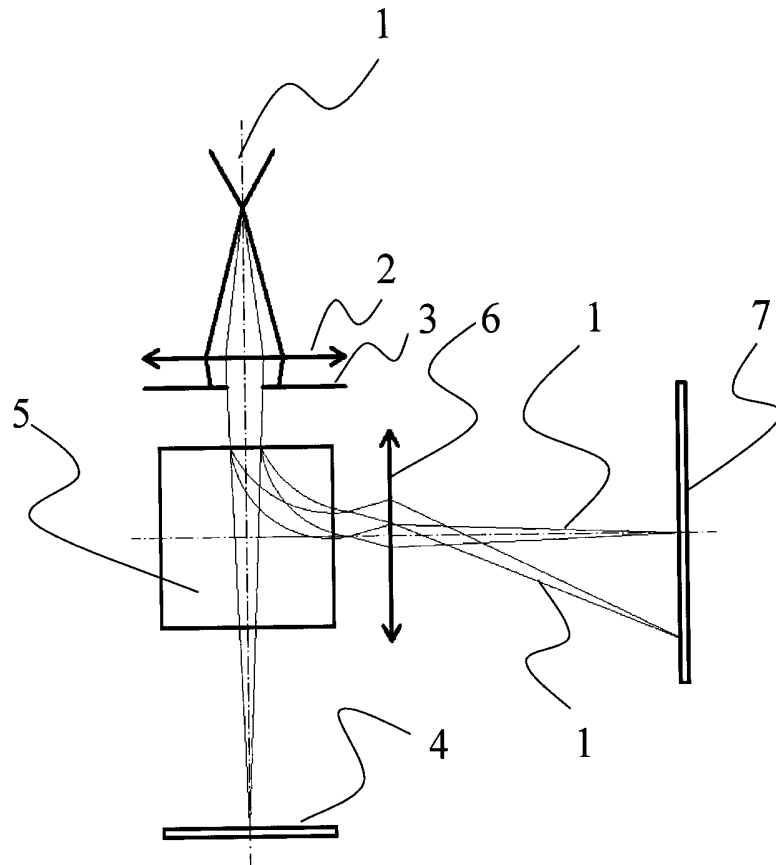
2. Způsob měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že před vyhodnocením čárového spektra vytvořeného rozšířeným elektronovým svazkem (1) na scintilačním průhledovém stínítku (7) se čárové spektrum opticky zvětší.

3. Energiový spektrometr pro měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem, uspořádaných ve vakuu, se k elektronové trysce (8) s katodou s malým virtuálním zdrojem přiřadí kondensorová čočka (9) pro zaostření elektronového svazku (1) emitovaného z elektronové trysky (8), za ní ve směru optické osy (10) energiového spektrometru je uspořádaná clona (3) pro optimalizaci průměru elektronového svazku (1) **vyznačující se tím**, že clona (3) je uložena před vstupem

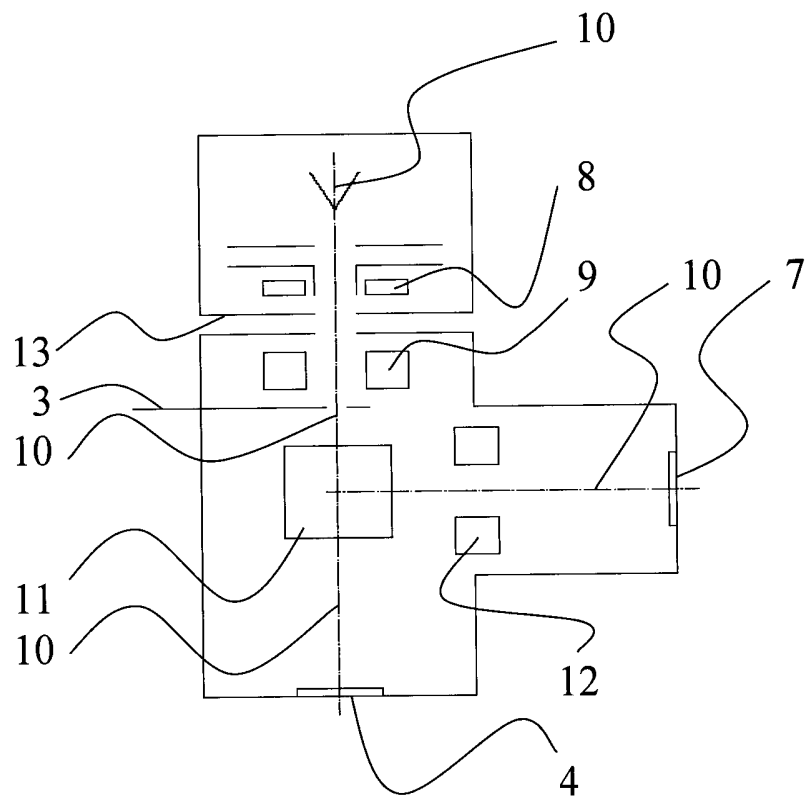
elektronového svazku (1) do magnetického hranolu (11) pro vychýlení elektronového svazku (1), uspořádaného za clonou (3) ve směru optické osy (10) energiového spektrometru a za ním ve směru optické osy (10) energiového spektrometru je uspořádáno první scintilační průhledové stínítko (4) pro umožnění kontroly zaostření elektronového svazku (1), přičemž za magnetickým hranolem (11) ve směru optické osy (10) magnetickým hranolem (11) vychýleného elektronového svazku (1) je uspořádána projektorová čočka (12) pro zvětšení rozměru spektra a za ní ve směru optické osy (10) vychýleného elektronového svazku (1) je uspořádáno druhé scintilační průhledové stínítko (7) pro zobrazení čárového spektra energiového rozdělení elektronové emise.

4. Energiový spektrometr pro měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že za druhým scintilačním průhledovým stínítkem (7) pro zobrazení čárového spektra energiového rozdělení elektronové emise je uspořádán optický objektiv.

5. Energiový spektrometr pro měření energiového rozdělení elektronové emise z katod s malým virtuálním zdrojem podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že k optickému objektivu je přiřazena fotografická kamera.



Obr. 1



Obr. 2