

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2018-584

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

H01J 37/141 (2006.01)
H01J 37/143 (2006.01)
H01J 37/153 (2006.01)
H01J 37/26 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **28.10.2018**

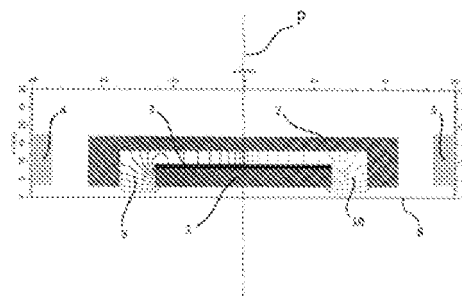
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **05.02.2020**
(Věstník č. 6/2020)

- (71) Přihlašovatel:
DELONG INSTRUMENTS a. s., Brno, Královo Pole, CZ
- (72) Původce:
RNDr. Vladimír Kolařík, CSc., Brno, Řečkovice, CZ
Ing. Jaromír Bačovský, Brno, Královo Pole, CZ
- (74) Zástupce:
RNDr. Silvie Dokulilová, Ph.D., Bašného 279/51,
623 00 Brno, Kohoutovice

vady. V dalším provedení je mezi pólové nástavce (1, 2) do oblasti první z mezer vložena první elektromagnetická cívka (6) a do oblasti druhé z mezer druhá elektromagnetická cívka (7). Způsob korigování sférické vady další čočky, typicky objektivové čočky, se provádí změnou buzení první elektromagnetické cívky (6) a/nebo druhé elektromagnetické cívky (7) a/nebo prvního multipólu (4) a/nebo druhého multipólu (5).

- (54) Název přihlášky vynálezu:
Korektor sférické vady v zařízení se svazkem nabitých částic a způsob korigování sférické vady další čočky, typicky objektivové čočky, tímto korektorem

- (57) Anotace:
Korektor sférické vady v zařízení se svazkem nabitých částic, typicky v elektronovém mikroskopu, obsahuje dublet speciálních čoček (9, 10), který je vytvořen pomocí vnějšího pólového nástavce (2) a uvnitř něj umístěného vnitřního pólového nástavce (1). Ve směru od společné osy (8) nástavců k vnějšímu pólovému nástavci (2) je mezi vnitřním pólovým nástavcem (1) a vnějším pólovým nástavcem (2) vytvořena mezera pro permanentní magnety, v níž jsou umístěny alespoň dva permanentní magnety (3), které jsou zmagnetovány v podstatě kolmo na společnou osu (8) nástavců. Mezi pólovými nástavci (1, 2) jsou dále vytvořeny i dvě mezery pro vytvoření speciálních čoček (9, 10) dubletu. Takový dublet speciálních čoček (9, 10) vykazuje vysokou míru symetrie magnetických polí a po umístění mezi dva multipóly (4, 5) vytváří korektor pro korekci sférické vady další čočky při malých rozměrech za současného minimálního zhoršení chromatické



Korektor sférické vady v zařízení se svazkem nabitých částic a způsob korigování sférické vady další čočky, typicky objektivové čočky, tímto korektorem

5 Oblast techniky

Vynález se týká zařízení se svazkem nabitých částic obsahujícího dublet speciálních čoček. Tento dublet vytváří magnetická pole s vysokým stupněm symetrie a lze ho využít například pro korekci sférické vady další čočky, typicky objektivové čočky v částicově-optickém mikroskopu. Předkládané zařízení a způsob jeho použití najdou velké uplatnění zvláště v nízkonapěťové elektronové mikroskopii.

15 Dosavadní stav techniky

Vynález se týká přístrojů se svazky nabitých částic, zvláště pak prozařovacího elektronového mikroskopu (zkratka TEM z anglického transmission electron microscope), rastrovacího prozařovacího elektronového mikroskopu (zkratka STEM z anglického scanning transmission electron microscope) a rastrovacího elektronového mikroskopu (zkratka SEM z anglického scanning electron microscope). I když je část této přihlášky věnována speciálně využití v elektronové mikroskopii, dublet speciálních elektronových čoček se může uplatnit i v jiných zařízeních, než je elektronový mikroskop. V případě správně nastavených magnetických vlastností může být vhodný i pro zařízení s jiným typem nabitých částic, než jsou elektrony, například s ionty.

25 Obecnou vlastností přístrojů uvedených v předchozím odstavci je schopnost vytvářet pomocí svazku nabitých částic zvětšené obrazy pozorovaných objektů. Je přirozenou snahou postupně získávat obrazy se stále větší rozlišovací schopností, přičemž současným cílem je získání obrazů jednotlivých atomů těžkých, respektive i lehkých prvků. Další metou je možnost zobrazení atomárních struktur biologických preparátů, jako například bílkovin, nebo řetězců genetických nukleotidů.

35 Elektronová mikroskopie má v principu potenciál tento úkol naplnit. Základním předpokladem je, že elektrony se chovají jako částice několik tisíckrát menší než fotony, se kterými pracuje mikroskopie světelná. Světelná mikroskopie je schopna zobrazit detaily o velikosti jedné tisícinny mm, přičemž mikroskopie elektronová o velikosti jedné deseti- miliontiny mm, což je zhruba rozměr jednoho atomu.

40 Světelná mikroskopie dosáhla záhy svého vrcholu, když dokázala zobrazit částice o velikosti srovnatelné s vlnovou délkou viditelného světla. Elektronová mikroskopie je však tomuto cíli ještě vzdálena. Její potenciál není tedy ještě využit až na fyzikální hranici procesu zobrazování. Není zde však překážkou sama velikost elektronu, ale jsou to vlastnosti, zejména velké optické vady, elektronově optických prvků.

45 Na rozdíl od optických vad světelných čoček, které lze korigovat vzájemnou kombinací rozptylných a spojných prvků, je elektronová optika odkázaná pouze na prvky spojně. Rotačně symetrické spojně prvky mají stejné znaménko koeficientů optických vad a tyto nelze tedy eliminovat kombinací s prvky rozptylnými. Lze tedy pouze usilovat o prvky (čočky) s co možná nejmenšími koeficienty vad, ale tyto nelze již vzájemně vyrušit. Velkou překážkou je rovněž 50 silná závislost optických vad elektronových čoček na úhlech, pod kterými elektrony do čoček vstupují. Lze pracovat pouze s velmi malými aperturními úhly, což silně omezuje celkový proud elektronů ve svazku.

55 Mikroskopy typu TEM či STEM, které jsou pro zobrazování atomárních struktur vhodné, pracují vesměs s energiemi elektronů řádově 100 keV. Tyto energie jsou z mnoha technických hledisek

výhodné, ale jsou již příliš velké s ohledem na pozorovaný objekt. Vysoko energetické elektrony poškozují vlastní preparát vyražením jednotlivých atomů dopadajícími elektrony. Výrazně nižší energie elektronů v rozmezí 20 až 40 keV tento typ poškozování pozorovaného objektu již nezpůsobují. Snahou posledních několika roků je snižovat energii elektronů až k těmto nízkým hodnotám. Tato snaha přináší další problémy plynoucí z procesů nabíjení povrchů optické soustavy, vzájemného odpuzování se elektronů nebo zvýšení vlivu rušivých vnějších magnetických polí.

Další velkou překážkou dosahování sub-atomárního rozlišení je, jak již bylo zmíněno, nemožnost kompenzovat elektronově optické vady rotačně symetrických zobrazovacích soustav pomocí prvků s opačnými znaménky koeficientů optických vad. Je však již sedmdesát let známo, že tyto optické vady lze kompenzovat pomocí multipólových optických prvků (kvadrupóly, oktapóly, hexapóly), elektrostatickými zrcadly nebo pomocí časově proměnných zobrazovacích polí.

Přes tuto skutečnost se padesát let nedařilo úspěšně tyto korekční metody aplikovat. V posledních dvaceti letech však došlo k průlomům. Úspěchy zaznamenaly korektory optických vad založené na aplikaci multipólové elektronové optiky aplikované ve vysokonapěťových přístrojích TEM a STEM. Rozlišovací schopnost mikroskopů dosáhla subatomární úrovně, nicméně problém degradace preparátů kvůli vysokým energiím elektronů zůstal nevyřešen.

Reakcí na tuto skutečnost je v současné době snaha provozovat vysokonapěťové elektronové mikroskopy na energiích od 20 do 60 keV, u nichž je poškození preparátu menší. Takto přeladěné přístroje, původně určené k práci s vysokými energiemi, jsou rozměrově velmi robustní, poněvadž jejich izolační i detekční systémy jsou optimalizovány pro energie vysoké. To platí i o používaných korektorech vad (vady sférické, respektive i vady chromatické), které svými rozměry také odpovídají robustní mechanické konstrukci vysokonapěťového elektronového mikroskopu.

V reakci na tento vývoj se v současné době objevují snahy přistoupit k řešení problému ze strany opačné, to je pokusit se postavit přístroje typu TEM, STEM, respektive SEM tak, aby celá koncepce byla optimalizována s ohledem na výrazně nižší pracovní energie v rozsahu například 5 až 25 keV. Takto řešené elektronové mikroskopy mají tu výhodu, že jsou rozměrově velmi malé a realizovatelné dokonce v tzv. table top podobě. Obrazové rozlišení takovýchto přístrojů, které nejsou opatřeny žádným korektorem elektronově optických vad, dosahuje hodnot okolo 1 nm. Tato hodnota je limitována převážně vadou chromatickou, ale rovněž úzce souvisí i se sférickou vadou hlavní objektivové čočky.

Dalším krokem, chceme-li se přiblížit atomárnímu rozlišení je zavedení některého typu korektoru aberací. Tento krok byl úspěšně vyřešen a otestován u přístrojů vysokonapěťových v případech, kdy jsou tyto přeladěny na práci s energiemi sníženými. Korektory aberací v těchto mikroskopech obsahují elektromagnetické a/nebo elektrostatické elektronově optické prvky. Takové standardní typy vysokonapěťových korektorů bohužel není možné aplikovat na přístroje optimalizované pro nízké energie z praktických důvodů. Vysokonapěťové korektory jsou vesměs rozměrově větší než samotné nízkonapěťové mikroskopy typu TEM, SEM i STEM. Vzniká tedy otázka, je-li v principu možné miniaturizovat korektory elektronově optických vad do té míry, aby bylo možno udržet rozměrový koncept nízkonapěťových mikroskopů.

Dosud známé komplexní systémy korigující současně vadu sférickou i chromatickou založené na využití kvadrupólů a oktapólů jsou značně komplikované a kladou velké nároky na elektrické stability všech napájecích prvků. Příklad jednoho takového systému je např. v článku autorů H. Rose a W. Wan s názvem Korekce aberací v elektronové mikroskopii, str. 47-48, který byl publikován v roce 2005 ve sborníku z konference Částicové urychlovače pořádané v Knoxville v Tennessee v USA.

Popis korektoru sférické vady elektronových čoček s využitím hexapólů lze nalézt rovněž ve výše uvedeném příspěvku na str. 46-47 nebo např. v práci autora J. Sopouška s názvem Vady seřízení hexapólového korektoru sférické vady, jejich analýza a korekce, str. 29-67, publikováno jako diplomová práce VUT v Brně v roce 2017, dostupné z <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/101549>. Korektory popisované v obou těchto pracích obsahují ve směru podél optické osy mikroskopu první hexapól, dublet elektronových čoček a druhý hexapól. I když typ použitých čoček v dubletu není v žádné z těchto prací specifikován, lze předpokládat, že autoři mají na mysli klasické elektromagnetické čočky, jelikož jiný typ čoček pro tento účel není ze stavu techniky znám.

Při analýze možnosti miniaturizace korekčního systému založeného na dvou hexapólech s vloženým dubletem elektronových čoček původci tohoto vynálezu se však ukázalo, že některé rozměry korektoru sférické vady nelze z principu věci zmenšovat, aniž by to vedlo ke zhoršení situace, pokud jde o nárůst vady chromatické. Jedná se vesměs o rozměr délkový (podél optické osy). Přitom je ale pro správnou funkci korektoru nezbytné, aby čočky obsažené v dubletu měly co nejmenší koeficient chromatické vady. Ukazuje se, že za tím účelem je nezbytné zachovat velké ohniskové dálky rotačně symetrických čoček dubletu, jak je tomu u korektorů vysokonapěťových elektronových mikroskopů využívajících elektromagnetické čočky. Tyto klasické elektromagnetické čočky používané ve vysokonapěťových přístrojích ale není možno miniaturizovat.

Zároveň je nutné, aby dublet čoček používaný v rámci korektoru vykazoval vysokou míru symetrie vytvořených magnetických polí, což bývá u řešení známých ze stavu techniky obtížné s ohledem na mechanické nepřesnosti či materiálové nehomogenity.

Podstata vynálezu

Výše popsané nevýhody odstraňuje korektor sférické vady v zařízení se svazkem nabitých částic obsahující dublet speciálních čoček a způsob korigování sférické vady další čočky, typicky objektivové čočky, tímto korektorem. Miniaturizace je umožněna tím, že se místo elektromagnetických čoček používaných v rámci korektorů známých ze stavu techniky navrhuje použít čočky, které nejsou elektromagnetické, ale využívají permanentních magnetů. Tyto čočky buzené permanentními magnety jsou využity v rámci dubletu speciálních čoček vloženého mezi dva multipóly typu hexapól, dodecapól apod. Taková konstrukce umožňuje potřebnou miniaturizaci, která je nutná pro využití obdobného typu korektoru v nízkonapěťovém mikroskopu jakéhokoli typu, tedy SEM, TEM i STEM. Korektor malých rozměrů může být ale výhodný i u vysokonapěťových mikroskopů různých typů z konstrukčních důvodů, jako je úspora místa.

Navržená konstrukce dubletu speciálních čoček je navíc taková, že minimalizuje nesymetrie generovaných magnetických polí vzniklé v důsledku mechanických nepřesností a materiálových nehomogenit a zbytkové nesymetrie umožňuje dynamicky kompenzovat.

Předkládaný vynález lze s výhodou využít při korigování sférické vady další čočky, typicky objektivové čočky mikroskopu se svazkem nabitých částic. Pro komplexní řešení se doplní monochromátorem energie, který snižuje vliv chromatické vady.

Korektor sférické vady v zařízení se svazkem nabitých částic dle předkládaného vynálezu obsahuje dublet speciálních čoček, které jsou částicově-optické a jsou buzeny permanentními magnety. Korektor obsahuje také dva multipóly, přičemž dublet speciálních čoček je ve směru optické osy umístěn mezi těmito multipóly a multipóly jsou geometricky uspořádány a elektricky zapojeny tak, že první multipól vytváří elektrostatické pole stejného tvaru a intenzity jako druhý multipól nebo tak, že první multipól vytváří elektromagnetické pole stejného tvaru a intenzity

jako druhý multipól, a současně tak, že dvojice speciálních čoček dubletu zobrazuje rovinu prvního multipólu na rovinu druhého multipólu.

5 Dublet speciálních čoček je přitom vytvořen pomocí vnějšího pólového nástavce z měkkého magnetického materiálu a uvnitř něj umístěného vnitřního pólového nástavce z měkkého magnetického materiálu. Pólové nástavce jsou uspořádány tak, že uvnitř nich je volný prostor, kterým prochází jejich v podstatě společná osa, a rovněž tak, že vnější pólový nástavec ve směru podél této osy na obou svých koncích přesahuje vnitřní pólový nástavec. Multipóly jsou přitom geometricky uspořádány a elektricky zapojeny rovněž tak, že každý z těchto multipólů vytváří 10 multipólové pole s četností tři nebo násobky tři kolem společné osy nástavců.

Podstatou tohoto korektoru je, že ve směru od společné osy nástavců směrem k vnějšímu pólovému nástavci je mezi vnitřním pólovým nástavcem a vnějším pólovým nástavcem vytvořena mezer pro permanentní magnety, v níž jsou umístěny alespoň dva permanentní 15 magnety, které jsou zmagnetovány v podstatě kolmo na společnou osu nástavců. Mezi vnitřním pólovým nástavcem a druhým pólovým nástavcem jsou dále vytvořeny i dvě mezery pro vytvoření speciálních čoček dubletu tak, že existuje rovina symetrie kolmá na společnou osu nástavců, podle níž jsou tyto mezery pro vytvoření speciálních čoček dubletu v podstatě zrcadlově symetrické. První z těchto mezer vytváří první speciální čočku dubletu a druhá z těchto 20 mezer vytváří druhou speciální čočku dubletu.

Je výhodné, když tvar a umístění permanentních magnetů jsou takové, že rovina symetrie dělí každý z permanentních magnetů na dvě části v podstatě zrcadlově symetrické podle této roviny.

25 Ve výhodném provedení jsou tvar a umístění pólových nástavců takové, že rovina symetrie dělí každý z pólových nástavců na dvě části v podstatě zrcadlově symetrické podle této roviny symetrie. Pólové nástavce mají navíc takový tvar a jsou umístěny kolem společné osy nástavců tak, že tato společná osa nástavců je v podstatě rotační osou symetrie s četností n vnitřního pólového nástavce, kde n je sudé číslo od 2 do limitně se blížícího ∞ , a že společná osa nástavců je také v podstatě rotační osou symetrie s četností m vnějšího pólového nástavce, kde m je sudé 30 číslo od 2 do limitně se blížícího ∞ . Zahrnuty jsou přitom i takové tvary pólových nástavců, které mají v některém řezu kolmém na společnou osu nástavců nebo ve všech takových řezech tvar mezikruží se středem v podstatě na společné ose nástavců.

35 V jednom možném provedení má vnitřní pólový nástavec tvar n -bokého hranolu s válcovým vrtáním kolem společné osy nástavců, kde n je sudé číslo, přičemž počet permanentních magnetů odpovídá počtu stěn n pláště hranolu.

40 Je výhodné, když se každý permanentní magnet se dotýká vnitřního pólového nástavce a/nebo vnějšího pólového nástavce.

Pro úpravy magnetického účinku dubletu může být mezi pólové nástavce do oblasti první z mezer pro vytvoření speciálních čoček dubletu vložena první elektromagnetická cívka a do oblasti druhé z mezer pro vytvoření speciálních čoček dubletu druhá elektromagnetická cívka. 45

Je výhodné, když jsou tyto elektromagnetické cívky umístěny a napájeny tak, že vytvářejí elektromagnetická pole, která jsou navzájem v podstatě zrcadlově symetrická podle výše uvedené roviny symetrie, a že tyto elektromagnetické cívky mají společný zdroj proudu pro buzení v sérii, a navíc má každá z těchto elektromagnetických cívek také svůj vlastní zdroj proudu pro 50 samostatné buzení k eliminaci možných asymetrií.

Podstatou způsobu korigování sférické vady další čočky, typicky objektivové čočky, výše popsaným korektorem je to, že pro vyladění účinnosti korekce sférické vady této další čočky se sleduje rozlišení zařízení a současně se mění buzení první elektromagnetické cívky a/nebo druhé 55 elektromagnetické cívky a/nebo prvního multipólu a/nebo druhého multipólu, dokud není

dosaženo maxima rozlišení. V tomto případě se zařízení sestaví a nastaví jako částicově-optický mikroskop a další elektronová čočka je částicově-optická a má optickou osu další čočky v podstatě totožnou s společnou osou nástavců.

- 5 Další výhody budou patrné z příkladů uskutečnění vynálezu.

Objasnění výkresů

10 V obr. 1 je řez dubletem speciálních čoček použitým v rámci korektoru sférické vady další čočky. Jedná se o základní provedení tohoto dubletu. Znázorněný řez je veden v rovině rovnoběžné se společnou osou 8 pólových nástavců 1, 2, které jsou použity k vytvoření speciálních čoček 9, 10 dubletu.

15 V obr. 2 je rovněž řez dubletem speciálních čoček použitým v rámci korektoru sférické vady další čočky. Tento řez je opět veden v rovině rovnoběžné se společnou osou 8 nástavců, tentokrát s doplněním o elektromagnetické cívky 6, 7 a s jiným tvarem a velikostí znázorněného permanentního magnetu 3 než v obr. 1. Zakreslena je rovněž rovina AA' kolmá na společnou osu 8 nástavců odpovídající řezu v obr. 3. Speciální čočky 9, 10 zde pro větší jasnost nejsou
20 znázorněny, ale jak plyne z obdobné konstrukce, nacházejí se ve stejné oblasti jako v obr. 1.

V obr. 1 a 2 je pro jednoduchost a jak je to v částicově-optických simulacích obvyklé zakreslena jen polovina řezu dubletem a multipóly korektoru, druhá polovina, která zakreslena není, by v tomto řezu byla zrcadlově symetrická vůči společné ose 8 nástavců. Multipóly 4, 5 jsou v obou
25 obrázcích znázorněny pouze symbolicky.

V obr. 3 je zobrazen řez jedním možným provedením korektoru v rovině AA' kolmé na společnou osu 8 nástavců. Tato rovina je vyznačena v obr. 2.

30 Prvky dubletu a korektoru znázorněné v těchto obrázcích nemusejí odpovídat reálnému měřítku. Odlišné mohou být rovněž vzájemné poměry rozměrů jednotlivých částí korektoru. Měřítko znázorněné na osách r a z v obrázcích se týká pouze jednoho z mnoha možných provedení vynálezu.

35

Příklady uskutečnění vynálezu

Vynález se týká zařízení se svazkem nabitých částic obsahujícího dublet speciálních čoček, které jsou částicově-optické. Konstrukce tohoto dubletu zaručuje vysoký stupeň symetrie vzniklých
40 magnetických polí speciálních čoček 9, 10 dubletu s tolerancí vůči mechanickým vadám a nehomogenitám materiálových vlastností a se schopností tyto vady případně dynamicky dokompenzovat. Zároveň tato konstrukce umožňuje miniaturizaci dubletu bez zhoršení optických vad. Takový dublet se s výhodou využije při konstrukci a optimalizaci korektoru sférické vady další částicově-optické čočky v zařízeních se svazky nabitých částic, speciálně pak ke korekci
45 sférické vady objektivové čočky v mikroskopech se svazky nabitých částic. Navržen je rovněž způsob korigování sférické vady další čočky v zařízení obsahujícím tento dublet speciálních čoček. Při tomto způsobu se využívá korekčních vlastností dvou za sebou řazených multipólů 4, 5 a dubletu speciálních čoček 9, 10. Vlastnosti korektorů částicově-optických vad vysokonapěťových mikroskopů, které byly popsány ve stavu techniky a které znemožňují přímou aplikaci již vyvinutých systémů, lze podle navrhovaného vynálezu obejít pomocí částicově-optických prvků, konkrétně speciálních čoček 9, 10 dubletu, napájených permanentními magnety. Aplikace napájení pomocí permanentních magnetů, která nebyla u korektorů sférické vady dle
50 stavu techniky doposud známá, nabízí možnost realizace velmi kompaktního korektoru sférické vady, který je svými rozměry a současně i optickými vlastnostmi kompatibilní s nízkonapěťovými přístroji typu TEM, SEM i STEM. Vzhledem k tomu, že nezbytné speciální
55

čočky 9, 10 dubletu musí vykazovat minimální hodnoty koeficientů optických vad, není možné realizovat tyto čočky pomocí miniaturních, ale méně kvalitních elektrostatických prvků. Opticky vyhovující čočky elektromagnetické na druhé straně zcela vylučují dosáhnout potřebné kompaktnosti řešení. Přitom tato kompaktnost dubletu speciálních čoček 9, 10 může být výhodná i v jiných zařízeních, než jsou nízkonapěťové elektronové mikroskopy, např. všude tam, kde je z konstrukčních důvodů nedostatek prostoru.

Termín částicově-optická čočka, jak je v oboru obvyklé, označuje v tomto textu čočku ovlivňující chod nabitých částic obdobně, jako optická očka ovlivňuje chod světelných paprsků. Částicově-optické čočky mohou být na principu elektrickém, elektromagnetickém nebo s využitím permanentních magnetů.

Rozumí se, že dále popsané a zobrazené konkrétní příklady uskutečnění vynálezu jsou představovány pro ilustraci, nikoli jako omezení příkladů provedení vynálezu na uvedené případy. Odborníci znalí stavu techniky najdou nebo budou schopni zjistit za použití rutinního experimentování či simulace větší či menší počet ekvivalentů ke specifickým uskutečněním vynálezu, která jsou zde speciálně popsána. I tyto ekvivalenty spadají do rozsahu ochrany podle přípojených patentových nároků.

Podstatou předloženého vynálezu je vytvoření dubletu speciálních čoček 9, 10 buzených pomocí permanentních magnetů 3 s radiálním směrem magnetizace, tzn. se směrem magnetizace v podstatě kolmým na v podstatě společnou osu 8 pólových nástavců 1, 2, které jsou využity pro vytvoření speciálních čoček 9, 10. Takto koncipovaný dublet speciálních čoček je v příkladných provedeních vidět v obr. 1, 2 a 3, přičemž v obr. 2 je písmeny S, N vyznačen i směr magnetizace permanentních magnetů 3. Vektorová orientace magnetizace permanentních magnetů 3 směrem ke společné ose 8 nástavců nebo směrem od ní není podstatná, obě orientace jsou možné, jak je také znázorněno na obr. 2 písmeny S, N v závorkách. Zásadní ale je, aby byl zachován v podstatě kolmý směr magnetizace vůči společné ose 8 nástavců.

Označení „v podstatě“ přitom v rámci celého tohoto dokumentu označuje takovou kolmost, případně sousost, symetrii, polohu středu kružnice či osy symetrie apod., která vykazuje požadovanou vlastnost, ale ne nutně úplně přesně. Termínem „v podstatě“ je proto míněno to, že dotyčná vlastnost je dodržena v rámci běžných výrobních tolerancí. U společné osy 8 nástavců nebudeme označení „v podstatě“ opakovat pokaždé, ale rozumí se, že vnitřní pólový nástavec 1 nemusí být zcela přesně souosý s vnějším pólovým nástavcem 2.

Inovativní je na předkládaném vynálezu je zejména to, že navrhuje zařízení obsahující dublet speciálních čoček, který je vytvořen pomocí vnějšího pólového nástavce 2 z měkkého magnetického materiálu a uvnitř něj umístěného vnitřního pólového nástavce 1 z měkkého magnetického materiálu, přičemž pólové nástavce 1, 2 jsou uspořádány tak, že uvnitř nich je volný prostor, kterým prochází jejich v podstatě společná osa 8 a že vnější pólový nástavec 2 ve směru podél této společné osy 8 nástavců na obou svých koncích přesahuje vnitřní pólový nástavec 1. Dále je ve směru od společné osy 8 nástavců k vnějšímu pólovému nástavci 2 mezi vnitřním pólovým nástavcem 1 a vnějším pólovým nástavcem 2 vytvořena mezera pro permanentní magnety, v níž jsou umístěny alespoň dva permanentní magnety 3, které jsou zmagnetovány v podstatě kolmo na společnou osu 8 nástavců. Mezi vnitřním pólovým nástavcem 1 a vnějším pólovým nástavcem 2 jsou dále vytvořeny i dvě mezery pro vytvoření speciálních čoček dubletu tak, že existuje rovina P symetrie kolmá na společnou osu 8 nástavců, podle níž jsou tyto mezery pro vytvoření speciálních čoček dubletu v podstatě zrcadlově symetrické. Tyto mezery v magneticky vodivém systému vytvářejí díky účinku permanentních magnetů 3 speciální čočky 9, 10 dubletu. Konkrétně první z těchto mezer vytváří první speciální čočku 9 dubletu a druhá z těchto mezer vytváří druhou speciální čočku 10 dubletu. Hlavní roviny speciálních čoček 9, 10 dubletu pak procházejí v podstatě kolmo na společnou osu 8 nástavců uvedenými mezerami pro vytvoření speciálních čoček dubletu. Obě speciální čočky 9, 10 dubletu jsou samozřejmě

částicově-optické a mají schopnost ovlivňovat svazek nabitých částic. Jsou nezbytné pro fungování korektoru sférické vady další čočky. Tato jejich funkce bude popsána níže.

5 Výše popsané uspořádání je dobře patrné z příkladných provedení v obr. 1, 2 a 3. V příkladném provedení dle obr. 1 a 2 je vnější pólový nástavec 2 na obou koncích, tj. na konci přivráceném
 10 prvnímú multipólu 4 i na opačném konci přivráceném k druhému multipólu 5, opatřen zahnutou částí, která je orientována směrem ke společné ose 8 nástavců. Tato zahnutá část může mít v řezech kolmých na společnou osu 8 nástavců například tvar mezikruží se středem na této společné ose 8 nástavců. Mezi zahnutou částí vnějšího pólového nástavce 2 na straně prvního
 15 multipólu 4 a k této zahnuté části přivráceným koncem vnitřního pólového nástavce 1 se pak vytvoří první mezeru s první speciální čočkou 9 dubletu. Podobně mezi zahnutou částí vnějšího pólového nástavce 2 na straně druhého multipólu 5 a k této zahnuté části přivráceným koncem vnitřního pólového nástavce 1 se pak vytvoří a druhá mezeru s druhou speciální čočkou 10 dubletu. Jsou možné ale i jiné konfigurace mezer za předpokladu, že splní podmínky uvedené
 v předcházejícím odstavci.

Magneticky měkkým materiálem, z něhož jsou vyrobeny pólové nástavce 1 a 2, může být například bezuhlíkaté železo.

20 Výše popsané uspořádání dubletu s velkým důrazem na fakt, že soustava budících permanentních magnetů 3 je společná pro obě speciální čočky 9,10 dubletu, je zárukou magnetické i mechanické symetrie dubletu, která je nezbytná pro jeho správnou funkci, zejména je-li použit v rámci korektoru sférické vady další čočky.

25 Díky tomuto uspořádání je možné částečně vykompenzovat mechanické, například výrobní nepřesnosti, a rovněž nehomogenity vlastností použitých materiálů, které se tak téměř neprojeví na magnetickém poli speciálních čoček 9, 10 dubletu. Výsledkem je, že i při ne zcela přesné výrobě, tj. například v případě, kdy pólové nástavce 1, 2 nebudou umístěny zcela přesně souose,
 30 kdy nebude dodržena perfektní zrcadlová symetrie mezer podle roviny P symetrie apod., se podaří dosáhnout dobré symetrie vzniklých magnetických polí, a to jak rotační kolem v podstatě společné osy 8 nástavců, tak i zrcadlově podle roviny P symetrie, podle níž jsou v podstatě zrcadlově symetrické mezery, v nichž se nacházejí čočky 9, 10 dubletu. Další, tentokrát dynamická kompenzace větších mechanických nepřesností či magnetických nehomogenit bude
 popsána níže v části věnované elektromagnetickým cívkám 6, 7.

35 Společná osa 8 nástavců je v tomto uspořádání totožná s optickou osou dubletu speciálních čoček 9, 10, jak je patrné z obr. 1, kde jsou zakresleny i siločáry magnetického pole v oblasti dubletu. Optickou osou přitom myslíme, jak je v oboru obvyklé, analogii optické osy světelných optických čoček pro částicově-optické čočky. V tomto případě je optická osa kolmá na hlavní
 40 roviny speciálních optických čoček 9, 10 dubletu. Siločáry magnetického pole takto vytvořeného dubletu jsou v oblasti podél společné osy 8 nástavců zrcadlově symetrické vůči této ose 8 v každém řezu rovnoběžném s touto osou. Dublet tedy vytváří rotačně symetrické magnetické pole kolem společné osy 8 nástavců v tom smyslu, že při libovolném pootočení kolem této osy zůstanou intenzita i směr magnetického pole beze změn. Současně je magnetické pole první
 45 speciální čočky 9 zrcadlově symetrické podle roviny P symetrie vůči magnetickému poli druhé speciální čočky 10.

Společná osa 8 nástavců je v příkladných provedeních dle obr. 1 a 2, kde mají pólové nástavce 1 a 2 větší rozměry podél vnitřní dutiny než ve směru napříč touto dutinou, totožná s podélnou
 50 osou těchto pólových nástavců. Společná osa 8 nástavců každopádně prochází dutinou uvnitř vnitřního pólového nástavce 1 a v oblasti konců dubletu i dutinou v oblasti vnějšího pólového nástavce, přičemž oba pólové nástavce vykazují vůči této společné ose 8 nástavců rotační symetrii se sudou četností.

Permanentní magnety 3 mohou být v mezeře prvního typu rozmístěny různým způsobem. Je výhodné, když jsou tvar a umístění permanentních magnetů 3 takové, že rovina P symetrie dělí každý z permanentních magnetů 3 na dvě části v podstatě zrcadlově symetrické podle této roviny P. Toto provedení je znázorněno v obr. 1, 2. V případě specifického složení permanentních magnetů je ale možné i jiné umístění.

Pokud jde o rozmístění permanentních magnetů 3 v příčném směru, výhodné je např. provedení, v němž se všechny permanentní magnety 3 se dotýkají vnitřního pólového nástavce 1, což ilustruje obr. 1. Je rovněž možné provedení, v němž se všechny permanentní magnety dotýkají obou pólových nástavců 1, 2, jak je znázorněno v obr. 3. Podélný řez permanentním magnetem dotýkajícím se obou pólových nástavců 1, 2 je ukázán v obr. 2. Je možné rovněž provedení (není zakresleno), v němž se všechny permanentní magnety dotýkají pouze vnějšího pólového nástavce 2. Uvedená provedení lze rovněž kombinovat, tzn. může být první skupina permanentních magnetů 3, které se dotýkají pouze vnitřního pólového nástavce 1 a/nebo může být přítomna druhá skupina permanentních magnetů 3, které se dotýkají vnějšího pólového nástavce 2 a/nebo může být přítomna třetí skupina permanentních magnetů 3, které se dotýkají obou pólových nástavců 1, 2. Permanentní magnety 3 jsou svojí magnetickou silou přidržovány na vnějším plášti vnitřního pólového nástavce 1 a/nebo na vnitřním plášti vnějšího pólového nástavce 2.

Dále je výhodné provedení, v němž jsou tvar a umístění pólových nástavců 1, 2 takové, že rovina P symetrie dělí každý z pólových nástavců 1, 2 na dvě části v podstatě zrcadlově symetrické podle této roviny P symetrie. Pólové nástavce 1, 2 mají navíc s výhodou takový tvar a jsou umístěny kolem společné osy 8 nástavců tak, že tato společná osa 8 nástavců je v podstatě rotační osou symetrie s četností n vnitřního pólového nástavce 1, kde n je sudé číslo od 2 do limitně se blížícího ∞ , a že společná osa 8 nástavců je také v podstatě rotační osou symetrie s četností m vnějšího pólového nástavce 2, kde m je sudé číslo od 2 do limitně se blížícího ∞ . Zahrnutý jsou i takové tvary pólových nástavců 1, 2, které mají v některém řezu kolmém na společnou osu 8 nástavců nebo ve všech takových řezech tvar mezikruží se středem v podstatě na společné ose 8 nástavců. V různých řezech kolmých na společnou osu 8 nástavců mohou mít pólové nástavce 1, 2 obecně odlišné profily, takže v tomto výhodném provedení mohou být v některých částech pólových nástavců ve směru podél společné osy 8 nástavců četnosti symetrie i vyšší než četnosti m , n , které se pro každý z nástavců týkají celé jeho délky.

V příčných řezech kolmých na společnou osu 8 nástavců mohou mít tedy obrysy vnitřního pólového nástavce 1 tvar kružnice nebo libovolného mnohoúhelníku se sudým počtem stran, přičemž vnější obrys může mít podobu jiného útvaru než vnitřní obrys tohoto vnitřního pólového nástavce 1. Analogicky mohou mít i obrysy vnějšího pólového nástavce 2 v příčných řezech kolmých na společnou osu 8 nástavců tvar kružnice nebo libovolného mnohoúhelníku se sudým počtem stran, přičemž vnější obrys může mít podobu jiného útvaru než vnitřní obrys tohoto vnějšího pólového nástavce 2.

Je výhodné, když má vnitřní pólový nástavec 1 tvar n -bokého hranolu s válcovým vrtáním kolem společné osy 8 nástavců, kde n je sudé číslo. Počet permanentních magnetů 3 v tom případě s výhodou odpovídá počtu stěn pláště hranolu. Příkladné provedení s vnitřním pólovým nástavcem 1 ve tvaru čtyřbokého hranolu s válcovým vrtáním kolem podélné osy je znázorněno v obr. 3, kde je ukázka této konfigurace v příčném řezu vedeném rovinou AA' kolmou na společnou osu 8 nástavců.

Pro úpravy magnetického účinku dubletu je výhodné, když je do oblasti první z mezer pro vytvoření speciálních čoček dubletu vložena první elektromagnetická cívka 6 a do oblasti druhé z mezer pro vytvoření speciálních čoček dubletu druhá elektromagnetická cívka 7.

Toto provedení je zakresleno v obr. 2. Elektromagnetické cívky 6 a 7 jsou určeny k jemnému naladění buzení speciálních čoček 9, 10 dubletu, respektive k jeho vypnutí.

Zmíněné dvě elektromagnetické cívky 6, 7 jsou optimálně umístěny a napájeny tak, že vytvářejí elektromagnetická pole, která jsou navzájem v podstatě zrcadlově symetrická podle roviny P symetrie. Je výhodné, když tyto elektromagnetické cívky 6, 7 mají společný zdroj proudu pro buzení v sérii a když má navíc každá z elektromagnetických cívek 6, 7 také svůj vlastní zdroj proudu pro samostatné buzení k eliminaci možných asymetrií. Tyto elektromagnetické cívky 6, 7 mohou být použity i k dynamické kompenzaci mechanických a materiálových nepřesností a nehomogenit v uspořádání dubletu speciálních čoček.

Jak je vidět v obr. 1 a 2, dublet speciálních čoček 9, 10 může být vložen mezi první multipól 4 a druhý multipól 5: Takové uspořádání pak lze použít jako korektor sférické vady další čočky. V tom případě každý z těchto multipólů 4, 5 vytváří multipólové pole s četností tři nebo násobky tři kolem společné osy 8 nástavců. Multipóly 4, 5 jsou přitom geometricky uspořádány a elektricky zapojeny tak, že první multipól 4 vytváří elektrostatické pole stejného tvaru a intenzity jako druhý multipól 5 nebo tak, že první multipól 4 vytváří elektromagnetické pole stejného tvaru a intenzity jako druhý multipól 5, a současně tak, že dvojice speciálních čoček 9, 10 dubletu zobrazuje rovinu prvního multipólu 4 na rovinu druhého multipólu 5.

Multipóly 4, 5 mohou být realizovány pomocí libovolných částicově-optických prvků, které jsou rozmístěny s šestičetnou rotační symetrií kolem společné osy 8 nástavců a vytvářejí přitom multipólové pole s četností tři nebo násobky tři kolem této společné osy 8 nástavců. Může jít tedy např. o hexapóly s četností symetrie rozmístění částicově-optických prvků 6, dodecapóly s četností symetrie rozmístění částicově-optických prvků 12, případně i s jakoukoli vyšší symetrií rozmístění částicově-optických prvků spadající do šestičetné rotační symetrie, tedy s četností 18, 24 atd.

Výše popsané zařízení obsahující dublet speciálních čoček 9, 10, multipóly 4, 5 a případně též elektromagnetické cívky 6, 7 lze využít pro korigování sférické vady další čočky, typicky objektivové čočky. V tomto případě se zařízení dále sestaví a nastaví jako částicově-optický mikroskop. Jak je známo ze stavu techniky, takový mikroskop pomocí zdroje nabitých částic a dalších prvků vytváří a moduluje částicový svazek, který prochází podél optické osy mikroskopu. Tento svazek se pak využívá ke zobrazování vzorků. Další čočka, jejíž sférická vada má být korigována, je částicově-optická a má optickou osu další čočky, která je v podstatě totožná se společnou osou 8 nástavců. Typicky jsou tato optická osa další čočky i společná osa 8 nástavců vycentrovány na optickou osu celého zařízení. Jak je známo ze stavu techniky a jak je zřejmé i z popisu výše, prvky takového zařízení, zde jmenovitě typicky další čočka i částicově-optické prvky korektoru, mají také otvor pro průchod alespoň části svazku nabitých částic. Pro vyladění účinnosti korekce sférické vady další čočky se sleduje rozlišení zařízení, kterým je v tomto případě mikroskop se svazkem nabitých částic, a současně se mění buzení první elektromagnetické cívky 6 a/nebo druhé elektromagnetické cívky 7 a/nebo prvního multipólu 4 a/nebo druhého multipólu 5, dokud není dosaženo maxima rozlišení.

Velikostí buzení multipólů 4, 5 se nastavuje velikost korekčního účinku. Takto lze dosáhnout buď vynulování sférické vady další čočky nebo dokonce i jejího překorigování. Čočkový dublet se speciálními čočkami 9, 10 dubletu vložený mezi dvojici multipólů 4, 5 pak zaručuje odpovídající optický přenos jedné korekční roviny na druhou tak, aby vstupující rovnoběžný kruhový svazek opouštěl korektor rovněž jako kruhový svazek, ale ne již rovnoběžný, ale mírně rozbíhavý. Právě tato změna z rovnoběžného na mírně rozbíhavý svazek představuje vlastní účinek korektoru.

Navržené uspořádání korektoru využívající permanentních magnetů 3 dovoluje miniaturizovat rozměr celého systému tak, aby byl souměřitelný s ostatními optickými prvky nízkonapětového elektronového mikroskopu. Délkové rozměry, které jsou diktovány nezbytnými ohniskovými dálkami speciálních čoček 9, 10 dubletu a jejich vzájemnou polohou, lze rovněž optimalizovat tak, aby nezbytné navýšení koeficientů chromatické vady bylo minimální. Minimalizace rozměrů speciálních čoček 9, 10 dubletu tedy není na úkor jejich optických kvalit.

Podrobnější vysvětlení funkce korektoru dle předkládaného vynálezu je následující:

5 Jak už bylo uvedeno výše, směr magnetizace permanentních magnetů 3 je kolmý ke společné ose 8 nástavců. To ve spojitosti s konstrukčním uspořádáním pólových nástavců 1, 2 a umístěním permanentních magnetů 3 v mezeře pro umístění permanentních magnetů mezi nimi vede z principiálních důvodů ke vzniku dvou speciálních čoček 9, 10 dubletu stejné optické mohutnosti, ale s opačným směrem magnetizace. Jedná se tedy o nestáčívé uspořádání čočkového dubletu. Základní mohutnost speciálních čoček 9, 10 dubletu se nastavuje pomocí velikosti permanentních magnetů 3. Touto metodou lze rovněž optimalizovat mohutnost

10 speciálních čoček 9, 10 dubletu s ohledem na preferovanou pracovní energii nabitých částic. Vzhledem k tomu, že koeficient nekorigované chromatické vady roste se snižující se ohniskovou délkou speciálních čoček 9, 10 dubletu, je soustava koncipována tak, že obě speciální čočky 9, 10 dubletu mají dostatečně velkou ohniskovou vzdálenost, aby jejich příspěvek k nárůstu chromatické vady byl minimální.

15 Vzhledem k tomu, že magnetickou sílu permanentních budících magnetů 3 nelze za provozu měnit, nelze speciální čočky 9, 10 dubletu přizpůsobovat změně urychlovacího napětí. Ze stejného důvodu nelze ani vyrovnávat odchylky účinnosti speciálních čoček 9, 10 dubletu vznikající například kvůli odchylkám magnetické vodivosti dílů těchto čoček. Pro řešení tohoto problému byla zvolena možnost měnit magnetickou mohutnost dubletu speciálních čoček 9, 10 pomocí korekčních elektromagnetických cívek 6, 7 umístěných alespoň částečně v mezerách pro vytvoření speciálních čoček dubletu mezi pólovými nástavci 1 a 2, tedy v magnetických mezerách obou speciálních čoček 9, 10 dubletu. Takto lze zvyšovat, respektive snižovat optickou mohutnost obou speciálních čoček 9, 10 dubletu, a to buď současně, nebo navíc i u každé čočky zvlášť, jak plyne z výše popsaného zapojení zdrojů proudu k těmto elektromagnetickým cívkám 6, 7.

20 Pro zajištění vlastní funkce korektoru je magnetický čočkový dublet speciálních čoček 9, 10 doplněn na straně vstupu i výstupu částicového svazku multipóly 4, 5, nejčastěji přitom jde o elektrostatické hexapóly. Poloha těchto multipólů 4, 5 ve směru společné osy 8 nástavců je dána ohniskovou vzdáleností speciálních čoček 9, 10 dubletu. Délka multipólů 4, 5 zaručuje odpovídající funkční závislosti korektoru na aperturním úhlu vystupujícího kruhového svazku po zavedení odpovídajících korekčních napětí na tyto multipóly 4, 5. Při správném nastavení poloh a ohniskových vzdáleností dubletu speciálních čoček 9, 10 dubletu, případně i za pomoci vhodného buzení elektromagnetických cívek 6, 7, je vlastní korekce sférické vady dosaženo ideálně souběžným zvyšováním napětí na obou multipólech 4, 5 tak, až negativně zavedená korekce kompenzuje sférickou vadu objektivové čočky. Výsledkem provedené korekce je zvýšení ostrosti obrazu, a tedy zvýšení jeho rozlišení.

30 Chod elektronového svazku korektorem v příkladném případě, že použitým zařízením je elektronový mikroskop, lze popsat následovně:

45 Podél společné osy 8 nástavců, která je současně optickou osou korektoru, vstupuje do korektoru v obrázcích nenaznačený rovnoběžný svazek elektronů kruhového tvaru.

50 Tvarem zde přitom myslíme tvar v průřezu kolmém na společnou osu 8 nástavců. Po průchodu prvním multipólem 4 se tento kruhový tvar svazku mění na tvar s trojčetnou osou symetrie. Po průchodu první speciální čočkou 9 dubletu je svazek zfokusován v polovině vzdálenosti mezi oběma speciálními čočkami 9 a 10 dubletu. Po průchodu svazku druhou speciální čočkou 10 dubletu je svazek promítnut do druhého multipólu 5. Průchodem druhým multipólem 5 dojde k sejmutí trojčetné deformace svazku, který pak vychází z korektoru opět ve tvaru kruhovém, přičemž paprsky blízko optické osy jsou opět rovnoběžné, ale paprsky vzdálenější optické ose

jsou mírně rozbíhavé. Velikost této rozbíhavosti je mírou korekční mohutnosti korektoru, která se nastavuje pomocí velikostí amplitud napětí na obou multipólech 4 a 5.

5 Buzení elektromagnetických cívek 6 a 7, které se používají k doladění speciálních čoček 9, 10
 dubletu, se přitom může s výhodou měnit současně, samostatné buzení je použito spíše pro
 vykompenzování asymetrií. Podobně se také buzení prvního multipólu 4 a buzení druhého
 multipólu 5 může měnit současně. Termín buzení je přitom v rámci celé této přihlášky používán
 způsobem v oboru obvyklým, tedy u elektrostatických prvků ve smyslu elektrického napájení ze
 10 zdroje napětí a v případě elektromagnetických prvků ve smyslu elektrického napájení ze zdroje
 proudu.

Vypnutí účinku celého korektoru se provede příslušným vybuzením elektromagnetických cívek 6
 a 7 zapojených tak, aby působily proti magnetickému poli budících permanentních magnetů, při
 15 současném vypnutí napětí na všech elektrodách multipólů 4 a 5. Jsou-li multipóly 4, 5
 elektromagnetické, vypne se proud ke všem jejich cívkám.

Shora uvedený vynález je určen zvláště pro aplikaci v nízkovoltových elektronových
 mikroskopech, jejichž rozměrové dimenze jsou výrazně menší, než je tomu u přístrojů
 20 vysokonapěťových. Korektor sférické vady je možno použít pro všechny typy mikroskopů, tedy
 pro SEM, STEM a TEM.

V případě mikroskopů typu SEM je korektor aplikován v části tubusu formujícího elektronový
 svazek. Korektor následuje ve směru chodu elektronového svazku za elektronovou tryskou a
 předchází vlastní objektiv určený k zaostření svazku, jehož sférická vada je korigována. Detekce
 25 elektronů z preparátu pak probíhá v prostoru před zkoumaným preparátem.

V případě mikroskopů typu STEM je korektor rovněž aplikován v části tubusu formujícího
 elektronový svazek. Korektor následuje ve směru chodu elektronového svazku za elektronovou
 tryskou a předchází vlastní objektiv určený k zaostření svazku, jehož sférická vada je korigována.
 30 Detekce elektronů prošlých preparátem pak probíhá v prostoru za preparátem.

V případě mikroskopů typu TEM je korektor umístěn ve směru chodu elektronového svazku až
 za preparátem a objektivem. Takto aplikovaný korektor upravuje vlastnosti předcházejícího
 objektivu a eliminuje jeho sférickou vadu. Korektorem v tomto případě prochází celé zorné pole
 35 zformované objektivem s tím, že trajektorie elektronů zatížené sférickou vadou objektivu jsou
 opraveny v závislosti na velikosti aperturního úhlu zobrazení každého bodu obrazu.

Dublet speciálních čoček 9, 10 podle předkládaného vynálezu, který je umístěn mezi dva
 40 multipóly 4, 5, tedy funguje jako korektor, který ruší vliv sférické vady objektivové čočky a
 zvyšuje tímto účinkem rozlišovací schopnost zařízení se svazkem nabitých částic, v němž je
 použit. Současně je konstrukce dubletu taková, že významně nezhoršuje působení vady
 chromatické. Pro komplexní řešení se korektor využívající tento dublet s výhodou doplní
 monochromátorem energie částic, který snižuje vliv chromatické vady.

45

Průmyslová využitelnost

Zařízení se svazkem nabitých částic dle předkládaného vynálezu, které obsahuje dublet
 speciálních čoček, a způsob korigování sférické vady další čočky, typicky objektivové čočky,
 50 v tomto zařízení lze využít zejména v nízkonapěťové elektronové mikroskopii, protože
 miniaturní rozměry nízkonapěťových mikroskopů nedovolují korigovat sférickou vadu pomocí
 korektorů určených pro vysokonapěťovou elektronovou mikroskopii. Aplikace vynálezu zde
 vytváří základní předpoklad k získání zobrazení s vyšší rozlišovací schopností. Vynález lze ale
 využít i u vysokonapěťových elektronových mikroskopů, například za účelem úspory místa.
 55 Typy nízko- a vysokonapěťových mikroskopů, u nichž lze vynález použít, zahrnují TEM, STEM

i SEM. Možné je použití i v mikroskopech s iontovým svazkem. Zařízení obsahující dublet speciálních čoček dle předkládaného vynálezu, který vykazuje velkou míru symetrie vytvořených magnetických polí, může ale potenciálně najít využití i v jiných oblastech, než je mikroskopie se svazkem nabitých částic.

5

PATENTOVÉ NÁROKY

10

1. Korektor sférické vady v zařízení se svazkem nabitých částic obsahující dublet speciálních čoček, kde tento dublet zahrnuje dvojici speciálních čoček (9,10), kde tyto čočky jsou částicově-optické a jsou buzeny permanentními magnety, a obsahující také dva multipóly (4, 5), přičemž dublet speciálních čoček je ve směru optické osy umístěn mezi těmito multipóly (4, 5) a multipóly (4, 5) jsou geometricky uspořádány a elektricky zapojeny tak, že první multipól (4) vytváří elektrostatické pole stejného tvaru a intenzity jako druhý multipól (5) nebo tak, že první multipól (4) vytváří elektromagnetické pole stejného tvaru a intenzity jako druhý multipól (5), a současně tak, že dvojice speciálních čoček (9, 10) dubletu zobrazuje rovinu prvního multipólu (4) na rovinu druhého multipólu (5), přičemž dublet speciálních čoček je vytvořen pomocí vnějšího pólového nástavce (2) z měkkého magnetického materiálu a uvnitř něj umístěného vnitřního pólového nástavce (1) z měkkého magnetického materiálu, přičemž pólové nástavce (1, 2) jsou uspořádány tak, že uvnitř nich je volný prostor, kterým prochází jejich v podstatě společná osa (8) a že vnější pólový nástavec (2) ve směru podél této společné osy (8) nástavců na obou svých koncích přesahuje vnitřní pólový nástavec (1), když multipóly (4, 5) jsou geometricky uspořádány a elektricky zapojeny rovněž tak, že každý z těchto multipólů (4, 5) vytváří multipólové pole s četností tři nebo násobky tří kolem společné osy (8) nástavců, **vyznačující se tím**, že ve směru od společné osy (8) nástavců k vnějšímu pólovému nástavci (2) je mezi vnitřním pólovým nástavcem (1) a vnějším pólovým nástavcem (2) vytvořena mezera pro permanentní magnety, v níž jsou umístěny alespoň dva permanentní magnety (3), které jsou zmagnetovány v podstatě kolmo na společnou osu (8) nástavců, když mezi vnitřním pólovým nástavcem (1) a vnějším pólovým nástavcem (2) jsou dále vytvořeny i dvě mezery pro vytvoření speciálních čoček dubletu tak, že existuje rovina (P) symetrie kolmá na společnou osu (8) nástavců, podle níž jsou tyto mezery pro vytvoření speciálních čoček dubletu v podstatě zrcadlově symetrické, přičemž první z těchto mezer vytváří první speciální čočku (9) dubletu a druhá z těchto mezer vytváří druhou speciální čočku (10) dubletu.

2. Korektor podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že tvar a umístění permanentních magnetů (3) jsou takové, že rovina (P) symetrie dělí každý z permanentních magnetů (3) na dvě části v podstatě zrcadlově symetrické podle této roviny (P).

40

3. Korektor podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že tvar a umístění pólových nástavců (1, 2) jsou takové, že rovina (P) symetrie dělí každý z pólových nástavců (1, 2) na dvě části v podstatě zrcadlově symetrické podle této roviny (P) symetrie a že pólové nástavce (1, 2) mají navíc takový tvar a jsou umístěny kolem společné osy (8) nástavců tak, že tato společná osa (8) nástavců je v podstatě rotační osou symetrie s četností n vnitřního pólového nástavce (1), kde n je sudé číslo od 2 do limitně se blížícího ∞ , a že společná osa (8) nástavců je také v podstatě rotační osou symetrie s četností m vnějšího pólového nástavce (2), kde m je sudé číslo od 2 do limitně se blížícího ∞ , přičemž zahrnuty jsou i takové tvary pólových nástavců (1, 2), které mají v některém řezu kolmém na společnou osu (8) nástavců nebo ve všech takových řezech tvar mezikružů se středem v podstatě na společné ose (8) nástavců.

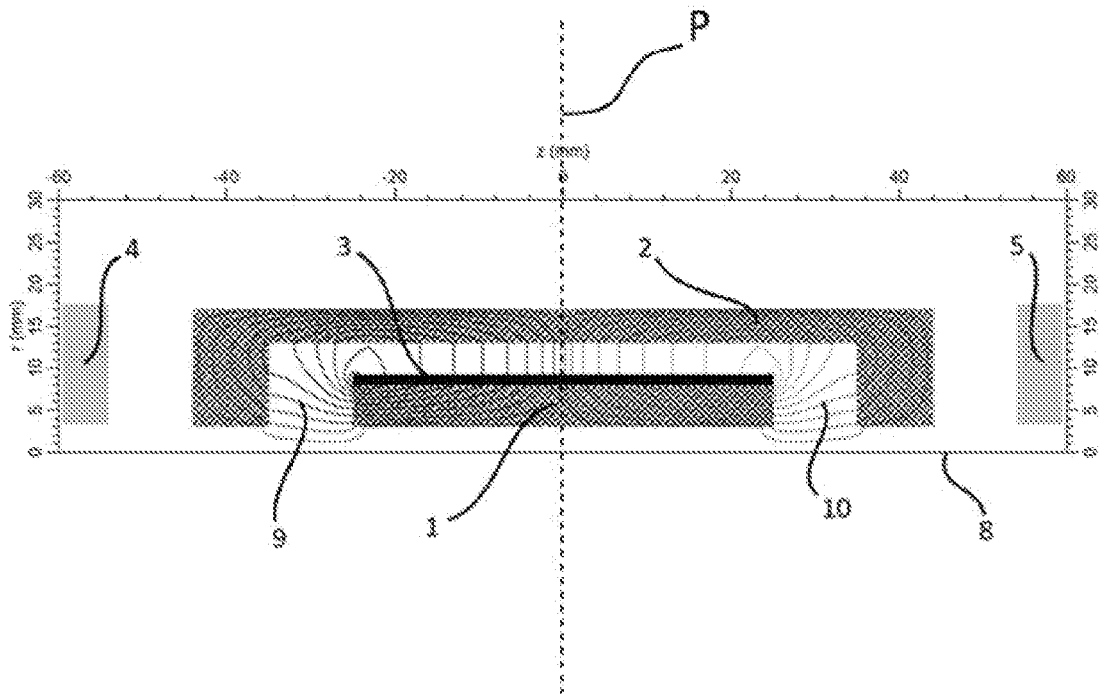
50

4. Korektor podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že vnitřní pólový nástavec (1) má tvar n-bokého hranolu s válcovým vrtáním kolem společné osy (8) nástavců, kde n je sudé číslo, přičemž počet permanentních magnetů (3) odpovídá počtu stěn n pláště hranolu.

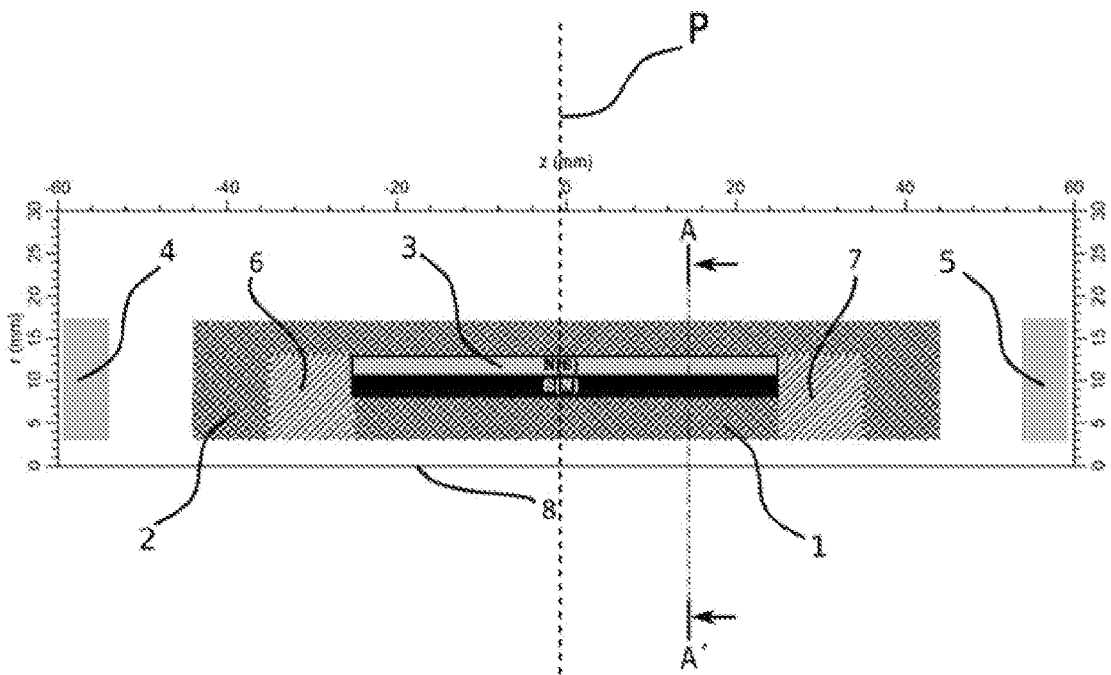
55

5. Korektor podle kteréhokoli z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že každý permanentní magnet (3) se dotýká vnitřního pólového nástavce (1) a/nebo vnějšího pólového nástavce (2).
6. Korektor podle kteréhokoli z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že pro úpravy magnetického účinku dubletu je mezi pólové nástavce (1, 2) do oblasti první z mezer pro vytvoření speciálních čoček dubletu vložena první elektromagnetická cívka (6) a do oblasti druhé z mezer pro vytvoření speciálních čoček dubletu druhá elektromagnetická cívka (7).
7. Korektor podle nároku 6, **vyznačující se tím**, že elektromagnetické cívky (6, 7) jsou umístěny a napájeny tak, že vytvářejí elektromagnetická pole, která jsou navzájem v podstatě zrcadlově symetrická podle roviny (P) symetrie, a že tyto elektromagnetické cívky (6, 7) mají společný zdroj proudu pro buzení v sérii, a navíc má každá z elektromagnetických cívek (6, 7) také svůj vlastní zdroj proudu pro samostatné buzení k eliminaci možných asymetrií.
8. Způsob korigování sférické vady další čočky, typicky objektivové čočky zařízení se svazkem nabitých částic, korektorem podle nároku 6 nebo 7, **vyznačující se tím**, že další elektronová čočka je částicově-optická a má optickou osu další čočky, která je v podstatě totožná se společnou osou (8) nástavců, přičemž pro vyladění účinnosti korekce sférické vady další čočky se sleduje rozlišení zařízení a současně se mění buzení první elektromagnetické cívky (6) a/nebo druhé elektromagnetické cívky (7) a/nebo prvního multipólu (4) a/nebo druhého multipólu (5), dokud není dosaženo maxima rozlišení.

2 výkresy

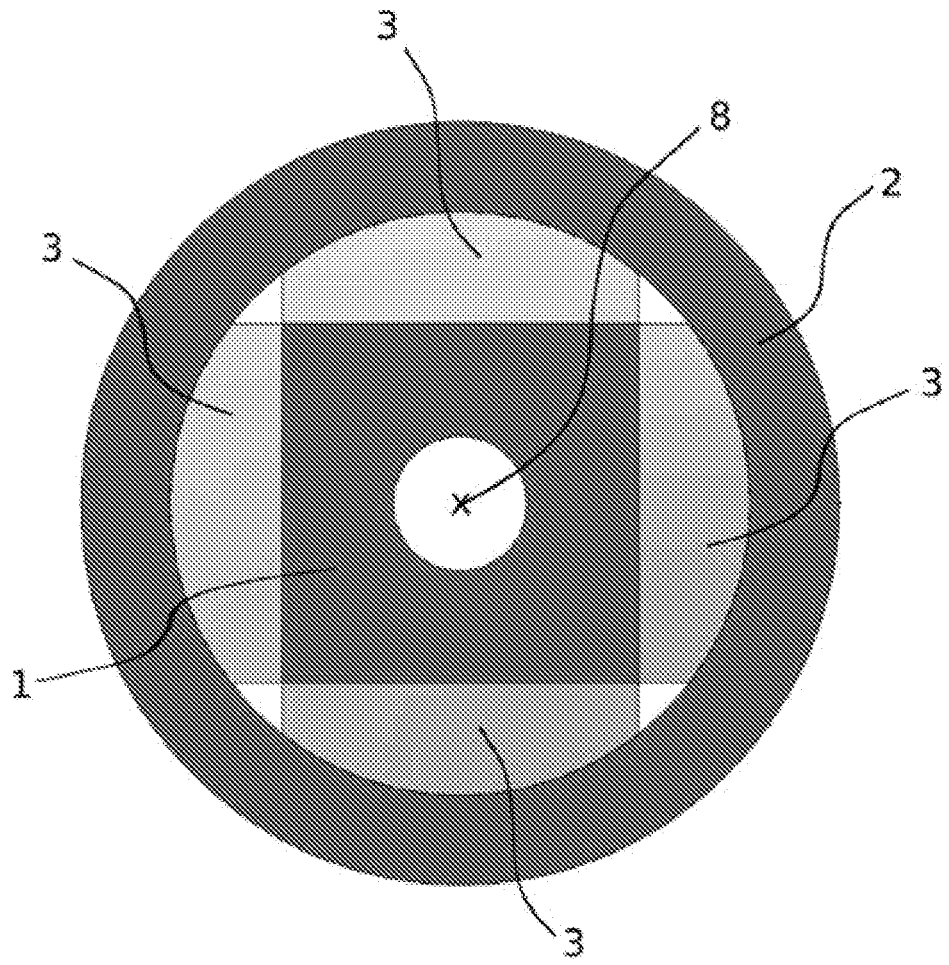


Obr. 1



Obr. 2

Řez A-A'



Obr. 3