

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



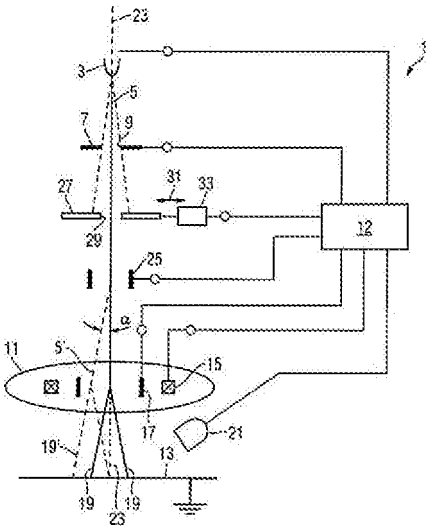
ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2018-624
(22) Přihlášeno: 13.11.2018
(30) Právo přednosti: 15.11.2017 DE 102017220398.6
(40) Zveřejněno: 03.07.2019
(Věstník č. 27/2019)
(47) Uděleno: 08.02.2024
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 20.03.2024
(Věstník č. 12/2024)

(56) Relevantní dokumenty:
EP 2309530 B1; EP 2463887 A3; EP 2669926 B1.

(73) Majitel patentu:
Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, DE
(72) Původce:
Dirk Preikszas, Oberkochen, DE
(74) Zástupce:
Kania, Sedlák, Smola, s.r.o., Mendlovo náměstí
907/1a, 603 00 Brno, Staré Brno

(54) Název vynálezu:
Postup seřizování mikroskopu se svazkem částic
(57) Anotace:
Při způsobu seřizování mikroskopu se svazkem částic jsou prováděny následující kroky:
A: Zařízení pro seřizování svazku je uvedeno do prvního nastavení W1, objektivová čočka je nabuzena na první hodnotu buzení objektivové čočky I1 a je pořízen první snímek;
B: Zařízení pro seřizování svazku je uvedeno do druhého nastavení W2 a je pořízen druhý snímek;
C: Zařízení pro seřizování svazku je uvedeno do prvního nastavení W1, objektivová čočka je nabuzena na druhou hodnotu buzení objektivové čočky I2 a je pořízen třetí snímek;
D: Zařízení pro seřizování svazku je uvedeno do druhého nastavení W2 a je pořízen čtvrtý snímek; a
E: Zařízení pro seřizování svazku je uvedeno do optimalizovaného nastavení Wopt určeného na základě snímků, objektivová čočka je nabuzena na třetí hodnotu buzení objektivové čočky $I3 = I1 + K * (I2 - I1)$ a je pořízen další snímek.



Postup seřizování mikroskopu se svazkem částic

Oblast techniky

Vynález se týká postupu seřizování mikroskopu se svazkem částic a při tom zejména takových postupů, při kterých se poloha svazku částic seřizuje relativně k hlavní ose objektivové čočky mikroskopu se svazkem částic.

Dosavadní stav techniky

Mikroskopy se svazkem částic, jako například mikroskopy se svazkem elektronů nebo mikroskopy se svazkem iontů, jsou komplexní technické systémy, které je třeba seřizovat s ohledem na optimální provoz. Jeden z dílčích aspektů seřizování mikroskopů se svazkem částic se týká seřizování svazku částic namířeného na objekt určený ke zkoumání relativně k objektivové čočce, pomocí které je svazek částic zaostřován na objekt. Protože zobrazovací vady objektivové čočky na svazek částic působí tím výrazněji, čím více jsou vzdáleny trajektorie částic procházejících objektivovou čočkou od hlavní osy objektivové čočky, je žádoucí svazek částic procházející objektivovou čočkou vystředit relativně k hlavní ose. K tomuto účelu mikroskop se svazkem částic zahrnuje zařízení pro seřizování svazku, které je umístěno mezi zdrojem částic pro generování svazku částic a čočkou objektivu a které je nastaveno tak, že svazek částic směřuje, resp. selektuje tak, aby tento svazek objektivovou čočkou procházel vystředěně vzhledem k její hlavní ose. Nalezení nastavení zařízení pro seřizování svazku, které je k tomuto účelu nezbytné, je obvykle prováděno v samostatném postupu seřizování mikroskopu se svazkem částic tak, aby byla vylepšena výkonnost mikroskopu se svazkem částic.

Běžný postup k tomuto účelu je znám ze spisu EP 2309530 B1. V tomto běžném postupu (srov. obrázek 2 spisu EP 2309530 B1) je při prvním nastavení zařízení pro seřizování svazku a prvním nastavení objektivové čočky pořízen první snímek. Poté je při prvním nastavení zařízení pro seřizování svazku a druhém nastavení objektivové čočky pořízen druhý snímek. Poté je při druhém nastavení zařízení pro seřizování svazku a prvním nastavení objektivové čočky pořízen třetí snímek. Poté je při druhém nastavení zařízení pro seřizování svazku a druhém nastavení objektivové čočky pořízen čtvrtý snímek. V důsledku různých nastavení jsou tyto čtyři pořízené snímky vzájemně relativně posunuté. Odpovídající posuny lze určit analýzou snímků, pokud je zobrazený objekt dostatečně strukturovaný. Z určených posunů se vypočítá optimalizované nastavení zařízení pro seřizování svazku. S použitím tohoto optimalizovaného nastavení zařízení pro seřizování svazku a prvního nastavení objektivové čočky jsou následně pořizovány snímky ve vysoké kvalitě.

Objevil se požadavek na další vylepšení tohoto postupu.

V reakci na to je úkolem předkládaného vynálezu navrhnout postup seřizování svazku částic relativně k objektivové čočce v mikroskopu se svazkem částic, který bude dosahovat relativně dobrých výsledků.

Podstata vynálezu

Podle tohoto vynálezu je navrhován postup seřizování mikroskopu se svazkem částic, který zahrnuje zdroj částic pro generování svazku částic, objektivovou čočku pro zaostření svazku částic na určitý objekt a zařízení pro seřizování svazku umístěné v dráze svazku mezi zdrojem částic a objektivovou čočkou, a přičemž tento postup zahrnuje: nastavení zařízení pro seřizování svazku a objektivové čočky ve čtyřech různých nastaveních a pořízení snímku objektu při každém jednom nastavení, určení optimalizovaného nastavení zařízení pro seřizování svazku

zakládající se na čtyřech snímcích a pořízení alespoň jednoho dalšího snímku při nastavení zařízení pro seřizování svazku do optimalizovaného nastavení.

Konkrétně postup podle tohoto vynálezu zahrnuje pořizování těchto čtyř snímků za následujících opatření:

Opatření A: Nastavení zařízení pro seřizování svazku do prvního nastavení W1, nastavení buzení objektivové čočky na první hodnotu I1 buzení objektivové čočky a pořízení prvního snímku objektu;

Opatření B: Nastavení zařízení pro seřizování svazku do druhého nastavení W2, které se liší od prvního nastavení W1, nastavení buzení objektivové čočky na první hodnotu I1 buzení objektivové čočky a pořízení druhého snímku objektu;

Opatření C: Nastavení zařízení pro seřizování svazku do prvního nastavení W1, nastavení buzení objektivové čočky na druhou hodnotu I2 buzení objektivové čočky, která se liší od první hodnoty I1 buzení objektivové čočky, a pořízení třetího snímku objektu;

Opatření D: Nastavení zařízení pro seřizování svazku do druhého nastavení W2, nastavení buzení objektivové čočky na druhou hodnotu I2 buzení objektivové čočky a pořízení čtvrtého snímku objektu.

Dále postup zahrnuje určení optimalizovaného nastavení Wopt zařízení pro seřizování svazku založené na prvním snímku, druhém snímku, třetím snímku a čtvrtém snímku, určení třetí hodnoty I3 buzení objektivové čočky a nastavení zařízení pro seřizování svazku do optimalizovaného nastavení Wopt, nastavení buzení objektivové čočky na třetí hodnotu I3 buzení objektivové čočky, která se liší od první hodnoty I1 buzení objektivové čočky a od druhé hodnoty I2 buzení objektivové čočky, a pořízení alespoň jednoho dalšího snímku, přičemž třetí hodnota I3 buzení objektivové čočky je určena tak, že je splněna následující relace:

$$I3 = I1 + K * (I2 - I1)$$

přičemž

I1 je první hodnota buzení objektivové čočky,
I2 je druhá hodnota buzení objektivové čočky,
I3 je třetí hodnota buzení objektivové čočky, a
K je předem určená hodnota.

U výše vysvětleného běžného postupu jsou pořizovány čtyři snímky při dvou různých nastaveních zařízení pro seřizování svazku a dvou různých nastaveních objektivové čočky. Dvě různá nastavení objektivové čočky jsou vyvolána dvěma různými nastaveními proudu, který se používá k buzení objektivové čočky. Při tom jsou různá nastavení tohoto proudu používána tak, že se tato nastavení opakují za sebou.

Magnetické pole určené k zaostřování svazku částic v daném okamžiku vytvořené nastaveným proudem k buzení objektivové čočky však nezávisí jen na proudu k buzení čočky nastaveném v tomto okamžiku, ale také na historii dříve nastavených proudů. Je to dáno hysterezí magnetické objektivové čočky.

Vynálezce poznal, že hystereze objektivové čočky je při běžném postupu seřizování svazku částic relativně k objektivové čočce omezující při dosažení optimalizovaného výsledku, který by vyhovoval vyšším nárokům.

V reakci na to není buzení objektivové čočky po pořízení čtyř snímků, určení optimalizovaného nastavení zařízení pro seřizování svazku Wopt a nastavení zařízení pro seřizování svazku do optimalizovaného nastavení Wopt pro pořízení alespoň jednoho dalšího snímku nastaveno zpět na první hodnotu I1 buzení objektivové čočky, ale na třetí hodnotu I3 buzení objektivové čočky, která se určuje podle výše uvedené relace tak, aby zohlednila efekty hystereze objektivové čočky. Předem určená hodnota K závisí na konfiguraci objektivové čočky a lze ji určit například experimentálně.

Pokud vycházíme z předpokladu, že první hodnota buzení objektivové čočky byla nastavena předem tak, aby bylo možné pořídit relativně dobře zaostřený snímek objektu, pak je v běžném postupu buzení objektivové čočky za účelem seřízení svazku částic relativně k objektivové čočce změněno na druhou hodnotu buzení objektivové čočky a poté nastaveno zpět na první hodnotu buzení objektivové čočky. V důsledku hystereze objektivové čočky je magnetické pole, které vzniká, když je buzení objektivové čočky podruhé nastaveno na první hodnotu buzení objektivové čočky, odlišné od magnetického pole, které bylo nastaveno, když bylo buzení objektivové čočky poprvé nastaveno na první hodnotu buzení objektivové čočky. Běžný postup však předpokládá, že po sobě vyvolaná nastavení první hodnoty buzení objektivové čočky, resp. druhé hodnoty buzení objektivové čočky vedou vždy ke stejným nastavením zaostření objektivové čočky. Protože tento předpoklad není splněn, nelze požadovaného seřízení dosáhnout v dostatečné míře. Nastavení buzení objektivové čočky na třetí hodnotu buzení objektivové čočky, která zohledňuje hysterezi objektivové čočky, provedené ve zde popsané formě provedení však vede k lepšímu výsledku.

Podle jedné z dalších příkladových forem provedení zahrnuje postup pořizování čtyř snímků následující opatření:

Opatření A: Nastavení zařízení pro seřizování svazku do prvního nastavení W1, nastavení buzení objektivové čočky na první hodnotu I1 buzení objektivové čočky a pořízení prvního snímku objektu; poté

Opatření B: Nastavení zařízení pro seřizování svazku do prvního nastavení W1, nastavení buzení objektivové čočky na druhou hodnotu I2 buzení objektivové čočky, která se liší od první hodnoty I1 buzení objektivové čočky, a pořízení druhého snímku objektu; poté

Opatření C: Nastavení zařízení pro seřizování svazku do druhého nastavení W2, které se liší od prvního nastavení W1, nastavení buzení objektivové čočky na druhou hodnotu I2 buzení objektivové čočky a pořízení třetího snímku objektu; poté

Opatření D: Nastavení zařízení pro seřizování svazku do druhého nastavení W2, nastavení buzení objektivové čočky na třetí hodnotu I3 buzení objektivové čočky, která se liší od první hodnoty I1 buzení objektivové čočky a od druhé hodnoty I2 buzení objektivové čočky, a pořízení čtvrtého snímku objektu. Možnost, jak může třetí hodnota I3 buzení objektivové čočky proběhnout před provedením nastavení buzení objektivové čočky na třetí hodnotu I3 buzení objektivové čočky, je vysvětlena dále.

Postup pak dále zahrnuje určení optimalizovaného nastavení Wopt zařízení pro seřizování svazku zakládající se na prvním snímku, druhém snímku, třetím snímku a čtvrtém snímku, určení třetí hodnoty I3 buzení objektivové čočky a nastavení zařízení pro seřizování svazku do optimalizovaného nastavení Wopt, nastavení buzení objektivové čočky na třetí hodnotu I3 buzení objektivové čočky a pořízení alespoň jednoho dalšího snímku, přičemž třetí hodnota I3 buzení objektivové čočky je určena tak, aby byla splněna následující relace:

$$I3 = I1 + K * (I2 - I1)$$

příčemž

- 5 I1 je první hodnota buzení objektivové čočky,
 I2 je druhá hodnota buzení objektivové čočky,
 I3 je třetí hodnota buzení objektivové čočky, a
 K je předem určená hodnota.

10 Také zde je třetí hodnota buzení objektivové čočky podle uvedené relace určována tak, aby byly zohledněny efekty hystereze.

15 Ve výše vysvětlených postupech jsou prováděna opatření, jako například opatření A až D, která vždy zahrnují nastavení zařízení pro seřizování svazku, buzení objektivové čočky, nebo i jiných zařízení. Tato opatření nastavování zahrnují nejen taková opatření, při kterých je zařízení nastavováno na novou, změněnou a dříve nenastavenou hodnotu. Tato opatření zahrnují spíše nastavení přístroje tak, že je po provedení opatření nastaven na požadovanou hodnotu, a to nezávisle na tom, na jakou hodnotu byl nastaven před provedením opatření. Zejména je tak možné, aby přitom bylo zachováno dříve existující nastavení.

20 Podle příkladových forem provedení může zařízení pro seřizování svazku zahrnovat deflektor svazku, přičemž nastavování zařízení pro seřizování svazku zahrnuje nastavování buzení deflektoru svazku. Deflektor svazku může být zejména elektrostatickým deflektorem svazku s možností buzení pomocí elektrického napětí a/nebo magnetickým deflektorem svazku s možností buzení pomocí elektrického proudu.

25 Podle dalších příkladových forem provedení může zařízení pro seřizování svazku zahrnovat clonu, která vykazuje destičku a v destičce umístěný otvor, kterým prochází svazek částic, přičemž clonu lze přemísťovat alespoň jedním směrem příčně ke směru svazku částic. Nastavování zařízení pro seřizování svazku přitom zahrnuje přemístění clony alespoň jedním směrem.

Objasnění výkresů

35 Formy provedení vynálezu jsou dále vysvětleny na základě obrázků. Obrázky přitom znázorňují následující:

- obrázek 1 schematické znázornění mikroskopu se svazkem částic;
- 40 obrázek 2 vývojový diagram, který vysvětluje postup seřizování mikroskopu se svazkem částic podle jedné z forem provedení;
- obrázek 3 schematické znázornění, které dále vysvětluje postup zobrazený na obrázku 2;
- 45 obrázek 4 schematické znázornění, které vysvětluje jednu z dalších forem provedení postupu seřizování mikroskopu se svazkem částic způsobem jako na obrázku 3; a
- obrázek 5 schematické znázornění, které vysvětluje běžný postup.

50

Příklady uskutečnění vynálezu

Obrázek 1 je zjednodušeným schematickým znázorněním mikroskopu se svazkem částic, kterým lze realizovat formy provedení postupu seřizování mikroskopu se svazkem částic. Zjednodušené schematické znázornění přitom obsahuje pouze komponenty mikroskopu se svazkem částic, které

jsou nezbytné a relevantní pro provedení zde vysvětleného postupu. Kromě toho zahrnuje typický elektronový mikroskop velký počet dalších komponentů, které jsou však ve znázornění na obrázku 1 vypuštěny, aby tak bylo usnadněno vysvětlení postupu.

- 5 Mikroskop 1 se svazkem částic zahrnuje zdroj 3 částic ke generování svazku 5 částic a anodu 7 s otvorem 9. Zdroj 3 částic je provozován prostřednictvím řídicí jednotky 12, která zdroji částic dodává i předem určený elektrický potenciál (např. vzhledem k zemnění). Elektrický potenciál přivedený přes řídicí jednotku 12 na anodovou clonu 7 pak společně s elektrickým potenciálem zdroje 3 částic určuje kinetickou energii, kterou vykazují částice svazku 5 částic po průchodu
10 otvorem 9 v anodové cloně 7.

V trajektorii svazku za anodou 7 je umístěna clona 27 pro ohraničení svazku, která vykazuje otvor 29. Tvar otvoru 29, který je obvykle kruhovitý, určuje průřez svazku 5 paprsků v následující trajektorii svazku.

- 15 Svazek 5 paprsků prochází objektivovou čočkou 11, která je na obrázku 1 znázorněna schematicky jako elipsa, a prostřednictvím objektivové čočky 11 je zaostřován na povrch objektu 13. Zaostrující magnetické pole objektivové čočky 11 je generováno cívkou 15, kterou protéká proud. Proud je do cívky 15 přiváděn z řídicí jednotky 12. Objektivová čočka 11 je tak buzena proudem protékajícím cívkou 15. Intenzitu tohoto proudu lze nastavit prostřednictvím řídicí
20 jednotky 12. Hodnota, která reprezentuje intenzitu proudu, je dále označována jako hodnota buzení objektivové čočky. Je možné jako hodnotu proudu pro hodnotu buzení objektivové čočky v dále vysvětleném postupu použít jiné veličiny, pokud hodnota buzení objektivové čočky reprezentuje buzení objektivové čočky.

- 25 Uvnitř objektivové čočky nebo, pozorováno ve směru trajektorie svazku mezi zdrojem 3 částic a objektem 13, krátce před nebo krátce za objektivovou čočkou 11, je umístěn skenovací deflektor 17, který je kontrolován řídicí jednotkou 12 a který je používán k přemísťování ohniska svazku 5 částic na objektu 13. Čáry 19 na obrázku 1 naznačují dvě různá skenovací vychýlení, ke kterým dochází při dvou různých buzeních skenovacího deflektoru 17. Mikroskop 1 se svazkem částic dále zahrnuje detektor 21 sekundárních elektronů nebo zpětně rozptýlených elektronů, které jsou z objektu 13 uvolňovány dopadajícím svazkem 5 částic. Pro pořízení snímku pomocí mikroskopu
30 1 se svazkem částic je ohnisko svazku 5 částic prostřednictvím buzení skenovacího deflektoru 17 kontrolovaného řídicí jednotkou 12 systematicky skenováno v rozšířené oblasti na povrchu objektu 13. Během toho detekuje detektor 21 elektrony a generuje signály odpovídající detekovaným elektronům, které jsou načítány řídicí jednotkou 12. Řídicí jednotka 12 ukládá tyto signály a přiřazuje je k místům, na která je svazek 5 částic nasměrován v okamžiku detekce příslušného signálu. Celá množina těchto dat reprezentuje snímek objektu 13 pořízený mikroskopem 1 se svazkem částic.

- 40 Kvalita pořízeného snímku závisí na tom, jak dobře je svazek 5 částic objektivovou čočkou 11 zaostřen na povrch objektu 13. Zobrazovací vady objektivové čočky 11 zhoršují výsledek. Zobrazovací vady jsou obvykle menší tehdy, když je použitý svazek částic vystředěn vzhledem k hlavní ose 23 objektivové čočky 11. Pro vystředění svazku 5 částic vzhledem k hlavní ose 23 objektivové čočky 11 je mezi zdrojem 3 částic a objektivovou čočkou 11 instalován deflektor 25 svazku, který je rovněž kontrolován řídicí jednotkou 12. Tento deflektor 25 svazku používaný k seřizování může být elektrostatickým deflektorem nebo magnetickým deflektorem nebo kombinací elektrostatického deflektoru a magnetického deflektoru. Odpovídajícím způsobem je do deflektoru 25 svazku řídicí jednotkou 12 přiváděno napětí nebo proud, aby při průchodu
50 deflektorem 25 svazku došlo k vychýlení svazku 5 částic o nastavitelný úhel. Hodnota, která reprezentuje velikost napětí, resp. intenzitu proudu, bude v dalším textu označována jako hodnota buzení pro vychylování svazku. Je možné jako hodnotu napětí, resp. proudu pro hodnotu buzení pro vychylování svazku v dále vysvětleném postupu použít jiné veličiny, pokud hodnota buzení pro vychylování svazku reprezentuje buzení deflektoru svazku.

55

Na obrázku 1 je svazek 5 částic, který deflektorem 25 svazku prochází bez vychýlení, znázorněn plnými čarami 5 a 19, zatímco čárkované čáry 5' a 19' reprezentují svazek částic vychýlený deflektorem 25 svazku o úhel α . Nevychýlený svazek a svazek vychýlený o úhel α procházejí objektivovou čočkou na různých pozicích relativně k její hlavní ose 23. Úkol seřizování nyní spočívá v nastavení úhlu α tak, aby byl svazek 5 částic při průchodu objektivovou čočkou 11 vzhledem k její hlavní ose 23 vystředěn. K tomuto účelu je postup vysvětlený dále na základě obrázku 2 prováděn řídicí jednotkou 12 automatizovaně.

Nejdříve je v kroku 101 nastaveno buzení deflektoru 25 svazku na první hodnotu buzení deflektoru svazku W1. Tato hodnota může být zvolena libovolně, může odpovídat například buzení, které v rámci postupu zatím nebylo použito, nebo může být hodnotou, která již dříve vedla k dobrému výsledku. Následně je buzení objektivové čočky 11 změněno tak, aby bylo splněno požadované kritérium pro ostrost snímku. K tomuto účelu může být opakovaně pořízen snímek objektu a změněno buzení objektivové čočky, aby analýzou pořízených snímků byla určena kvalita ostření. Buzení objektivové čočky pak může být v kroku 103 měněno tak dlouho, dokud není splněno požadované kritérium ostrosti snímku. Hodnota buzení objektivové čočky, která je výsledkem, je jako první hodnota I1 buzení objektivové čočky použita v následujícím postupu. Přitom může být jako první hodnota buzení I1 objektivové čočky použito již dříve nastavené buzení objektivové čočky 11, aniž by byly s ohledem na zlepšení kritéria ostrosti snímku opakovaně pořizovány a analyzovány snímky, pokud je o dříve nastaveném buzení objektivové čočky 11 známo, že její použití již vedlo ke snímkům s přijatelnou ostrostí snímku, která nemusí být maximální dosažitelnou ostrostí snímku. Krok 103 je tak možné vynechat.

V kroku 105 je buzení deflektoru 25 svazku nastaveno na první hodnotu vychylování svazku W1 a buzení objektivové čočky na první hodnotu I1 buzení objektivové čočky. V kroku 107 je s nastaveními z kroku 105 pořízen první snímek I1. Následně je v kroku 109 nastavení buzení deflektoru svazku změněno na druhou hodnotu buzení deflektoru svazku W2, zatímco nastavení buzení objektivové čočky je zachováno na první hodnotě I1 buzení objektivové čočky. Následně je v kroku 111 pořízen snímek B2 s nastaveními z kroku 109. Následně je v kroku 113 buzení deflektoru 25 svazku nastaveno opět na první hodnotu buzení deflektoru svazku W1, zatímco buzení objektivové čočky je nastaveno na druhou hodnotu I2 buzení objektivové čočky. Druhá hodnota buzení objektivové čočky může být například 1,01 násobkem první hodnoty buzení objektivové čočky.

V kroku 115 je pořízen třetí snímek B3 s nastaveními kroku 113. Následně je v kroku 117 buzení deflektoru 25 svazku nastaveno na druhou hodnotu buzení deflektoru svazku W2, zatímco buzení objektivové čočky zůstává nastaveno na druhé hodnotě I2 buzení objektivové čočky. V kroku 119 je pořízen čtvrtý snímek B4 s nastaveními z kroku 117.

V kroku 121 je poté ze čtyř pořízených snímků B1, B2, B3 a B4 vypočítána optimalizovaná hodnota buzení deflektoru svazku W_{opt} . Tento výpočet může být proveden například pomocí vzorců, které lze získat ve spisu EP 2309530 B1, jehož zveřejněná podoba je v celém rozsahu přejata do předkládané přihlášky.

V kroku 121 je dále určena třetí hodnota I3 buzení objektivové čočky. Třetí hodnota buzení objektivové čočky může být určena zejména tak, že je splněna následující relace:

$$I3 = I1 + K * (I2 - I1)$$

přičemž

I1 je první hodnota buzení objektivové čočky,
I2 je druhá hodnota buzení objektivové čočky,
I3 je třetí hodnota buzení objektivové čočky, a
K je předem určená hodnota.

Třetí hodnota buzení objektivové čočky je přitom určena tak, že zaostřující magnetické pole vytvořené objektivovou čočkou 11 v podstatě vykazuje stejnou intenzitu jako v případě buzení objektivové čočky 11 s první hodnotou buzení objektivové čočky při pořizování snímků B1 a B2 v krocích 107 a 111.

Takto lze v kroku 123 buzení deflektoru 25 svazku nastavit na optimalizovanou hodnotu buzení deflektoru svazku Wopt, a buzení objektivové čočky 11 může být pomocí nastavení na třetí hodnotu I3 buzení objektivové čočky nastaveno do značné míry optimálně, takže následně mohou být v kroku 125 pořízeny další snímky Bn objektu, které jsou vlastním cílem zkoumání. Tyto snímky vykazují relativně vysokou kvalitu obrazu, protože jsou pořizovány svazkem částic, který je vzhledem k hlavní ose objektivové čočky vystředěný.

Volitelně je možné po nastavování buzení deflektoru svazku na optimalizovanou hodnotu buzení deflektoru svazku Wopt a nastavení objektivové čočky na třetí hodnotu I3 buzení objektivové čočky v kroku 123 dále vylepšit buzení objektivové čočky optimalizací objektivové čočky s využitím třetí hodnoty buzení objektivové čočky v kroku 127 s ohledem na splnění kritéria ostrosti obrazu, jak již bylo vysvětleno výše v souvislosti s krokem 103. Z toho vyplývající optimalizovaná hodnota Iopt buzení objektivové čočky pak může být v kroku 129 použita společně s optimalizovanou hodnotou buzení deflektoru svazku Wopt, aby bylo pořízeno několik snímků Bn v kroku 125, které jsou cílem zkoumání objektu.

Postup vysvětlený na základě obrázku 2 je na obrázku 3 schematicky znázorněn alternativním způsobem. Na obrázku 3 jsou znázorněna časově postupně se za sebou vyskytující nastavení hodnoty buzení objektivové čočky a hodnoty buzení deflektoru svazku jako bloky, které jsou propojeny šipkami a které jsou umístěny v dvourozměrném poli, přičemž šipky vyjadřují časovou posloupnost. Horizontálně vedle sebe jsou znázorněny hodnoty buzení deflektoru svazku W1, W2 a Wopt, a vertikálně vedle sebe jsou znázorněny různé hodnoty I1, I2, I3 a Iopt buzení objektivové čočky. Je zřejmé, že při hodnotě I1 buzení objektivové čočky jsou snímky B1 a B2 při různých hodnotách buzení deflektoru svazku W1 a W2 pořízeny bezprostředně po sobě. Podobně jsou oba snímky B3 a B4 s hodnotami buzení deflektoru svazku W1, resp. W2 při stejné hodnotě buzení objektivové čočky I2 pořízeny bezprostředně po sobě. Proto jsou i při existující hysterezi objektivové čočky oba snímky B1 a B2 pořízeny při stejné intenzitě zaostřujícího magnetického pole. Stejně tak jsou oba snímky B3 a B4 pořízeny při stejné intenzitě zaostřujícího magnetického pole.

Tento případ zjevně nenastává ani u běžného postupu podle obrázku 2 ze spisu EP 2309530 B1, znázorněného na obrázku 5. V důsledku hystereze objektivové čočky 11 nejsou oba snímky B1 a B3 pořizovány při stejné intenzitě zaostřujícího magnetického pole, ačkoliv se to předpokládalo. Obdobné platí pro oba snímky B2 a B4.

U postupu vysvětleného na základě obrázku 3 je po pořízení čtyř snímků B1 až B4 buzení objektivové čočky nastaveno na hodnotu I3, aby byly pořízeny další snímky Bn. Přitom je hodnota I3 buzení objektivové čočky určena tak, že při této hodnotě objektivová čočka s přihlédnutím k její hysterezi generuje v podstatě stejné zaostřující magnetické pole, jako v předchozím případě při hodnotě I1 buzení objektivové čočky pro pořízení snímků B1 a B2. Toto nastavení je prováděno, protože dříve bylo známo, že při hodnotě I1 buzení objektivové čočky mohou být vytvořeny dobře zaostřené snímky. Přesto je volitelně možné zaostření dále optimalizovat například na základě kritéria ostrosti obrazu a použít výslednou optimalizovanou hodnotu Iopt buzení objektivové čočky pro pořízení dalších snímků.

Obrázek 4 vysvětluje jednu z dalších forem provedení postupu seřizování mikroskopu se svazkem částic. V tomto případě jsou opět čtyři snímky B1, B2, B3 a B4 pořízeny při různých nastaveních deflektoru svazku a objektivové čočky tak, aby byla určena optimalizovaná hodnota buzení deflektoru svazku Wopt. Přitom je mezi pořízením prvního snímku B1 a druhého snímku

B2 měněno buzení objektivové čočky z první hodnoty I1 buzení objektivové čočky na druhou hodnotu I2 buzení objektivové čočky. Snímky B2 a B3 jsou pořizovány při různých hodnotách buzení deflektoru svazku W1, resp. W2, ale při stejné hodnotě I2 buzení objektivové čočky. Čtvrtý obrázek B4 je pak pořízen při hodnotě buzení objektivové čočky I3 odlišné od druhé hodnoty I2 buzení objektivové čočky a první hodnoty I1 buzení objektivové čočky, kdy hodnota buzení objektivové čočky I3 je určena tak, že při třetí hodnotě I3 buzení objektivové čočky s přihlédnutím k hysterezi vzniká zaostřující magnetické pole generované objektivovou čočkou, které je v podstatě stejné jako magnetické pole, které vzniklo dříve při pořízení prvního snímku B1 buzením objektivové čočky první hodnotou I1 buzení objektivové čočky. Tak jsou oba snímky B1 a B4 pořízeny při v podstatě stejném zaostřujícím magnetickém poli.

Podobně jako u postupu vysvětleného na základě obrázku 3 je i při postupu z obrázku 4 po pořízení čtyř snímků B1 až B4 nastavena optimalizovaná hodnota buzení deflektoru svazku Wopt, a při třetí hodnotě I3 buzení objektivové čočky mohou být pořízeny další snímky Bn.

Kromě toho je také možné zaostření dále vylepšit například na základě kritéria ostrosti obrazu tak, abychom dospěli k optimalizované hodnotě Iopt buzení objektivové čočky tak, aby byly při této hodnotě pořízeny další snímky.

Ve výše vysvětlených formách provedení je jako zařízení pro seřizování svazku používán jediný deflektor 25 svazku, kterým je svazek generovaný zdrojem 3 částic vychylován o úhel α tak, že tento svazek prochází objektivovou čočkou 11 tak, že vznikající vady jsou v maximální možné míře omezeny. Alternativně je možné do trajektorie svazku umístit dva deflektory za sebou, které mohou být například ovládány tak, aby jeden po druhém vychylovaly svazek do obrácených směrů tak, aby došlo k jeho paralelnímu posunu. Přitom je výše vysvětlený postup seřizování používán odpovídajícím způsobem tak, že oba deflektory jsou buzeny tak, že svazek přesunou natolik, aby objektivovou čočkou 11 procházel tak, že vznikající vady jsou v maximální možné míře omezeny.

Ve výše vysvětlených formách provedení je deflektor 25 svazku používán jako zařízení pro seřizování svazku, aby seřizoval svazek generovaný zdrojem 3 částic tak, aby objektivovou čočkou 11 procházel tak, že vznikající vady jsou v maximální možné míře omezeny. Alternativně nebo navíc k tomuto existují další možnosti použití komponentů mikroskopu 1 se svazkem částic jako zařízení pro seřizování svazku.

Jedna z takových možností je dále vysvětlena na základě obrázku 1. Zde je prostřednictvím šipky 31 symbolicky znázorněno, že clonu 27, která určuje průřez svazku 5 částic v navazující trajektorii svazku, lze přemístit příčně ke směru svazku 5 částic. Tohoto přemístění je dosaženo aktuátorem 33 kontrolovaným řídicí jednotkou 12, například krokovým motorem, a může probíhat ve dvou vzájemně ortogonálních směrech. Může být instalován měřicí systém, který měří polohu clony 27 relativně k dalším komponentům mikroskopu 1 se svazkem částic a předává ji do řídicí jednotky, takže nastavení polohy clony 27 může probíhat prostřednictvím zpětné vazby.

Přemístění clony 27 příčně ke směru svazku vede k přemístění svazku v rovině objektivové čočky 11, takže i clona 27 může být použita jako zařízení pro seřizování svazku, aby byl svazek nastaven tak, že prochází objektivovou čočkou 11 tak, že vznikající vady jsou v maximální možné míře omezeny.

Postupy vysvětlené na základě obrázků 3 a 4 mohou být jednoduchým způsobem upraveny pro použití clony 27 jako zařízení pro seřizování svazku, a to tak, že nastavení W1, W2 a Wopt buzení deflektoru 25 svazku jsou použita jako nastavení polohy clony 27 a že postup je proveden odpovídajícím způsobem.

Ve výše vysvětlených formách provedení probíhá seřizování svazku částic relativně k

- objektivové čočce. Mikroskop se svazkem částic samozřejmě typicky zahrnuje další komponenty, vůči nimž má být svazek částic relativně seřizován nebo které mají být seřizovány relativně ke svazku částic tak, aby bylo dosaženo požadovaných kritérií při provozu částicového mikroskopu. Například může výše vysvětlený mikroskop 1 se svazkem částic navíc vykazovat stigmátor.
- 5 Tento stigmátor není během provádění výše vysvětleného postupu seřizování nabuzen, takže nejdříve lze vyrovnat svazek částic relativně k objektivové čočce. Poté je kvadrupólové pole stigmátoru vystředěno relativně ke svazku částic. To může probíhat mechanickým přemísťováním stigmátoru relativně ke svazku částic nebo tím, že kvadrupólové pole stigmátoru je překryto dipólovým polem tak, že osa souměrnosti kvadrupólového pole v podstatě splyne se
- 10 svazkem částic. Intenzita a orientace kvadrupólového pole pak mohou být nastaveny tak, aby byla dosažena požadovaná kritéria pro provoz mikroskopu se svazkem částic.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Postup seřizování mikroskopu se svazkem částic, přičemž mikroskop se svazkem částic obsahuje zdroj částic pro generování svazku částic, objektivovou čočku pro zaostřování svazku částic na objekt, a zařízení pro seřizování svazku umístěné v trajektorii svazku mezi zdrojem částic a objektivovou čočkou; a přičemž postup zahrnuje následující opatření:

Opatření A: nastavování zařízení pro seřizování svazku do prvního nastavení (W1), nastavování buzení objektivové čočky na první hodnotu (I1) buzení objektivové čočky a pořízení prvního snímku objektu;

Opatření B: nastavování zařízení pro seřizování svazku do druhého nastavení (W2), které se liší od prvního nastavení (W1), nastavování buzení objektivové čočky na první hodnotu (I1) buzení objektivové čočky a pořízení druhého snímku objektu;

Opatření C: nastavování zařízení pro seřizování svazku do prvního nastavení (W1), nastavování buzení objektivové čočky na druhou hodnotu (I2) buzení objektivové čočky, která se liší od první hodnoty (I1) buzení objektivové čočky, a pořízení třetího snímku objektu;

Opatření D: nastavování zařízení pro seřizování svazku do druhého nastavení (W2), nastavování buzení objektivové čočky na druhou hodnotu (I2) buzení objektivové čočky a pořízení čtvrtého snímku objektu;

a přičemž postup dále zahrnuje:

určení optimalizovaného nastavení zařízení pro seřizování svazku (Wopt) založené na prvním snímku, druhém snímku, třetím snímku a čtvrtém snímku;

určení třetí hodnoty (I3) buzení objektivové čočky; a

nastavování zařízení pro seřizování svazku do optimalizovaného nastavení (Wopt), nastavování buzení objektivové čočky na třetí hodnotu (I3) buzení objektivové čočky, která se liší od první hodnoty (I1) buzení objektivové čočky a od druhé hodnoty (I2) buzení objektivové čočky, a pořízení alespoň jednoho dalšího snímku,

vyznačující se tím, že třetí hodnota (I3) buzení objektivové čočky je určena tak, že je splněna následující relace:

$$I3 = I1 + K * (I2 - I1)$$

přičemž

I1 je první hodnota buzení objektivové čočky,

I2 je druhá hodnota buzení objektivové čočky,

I3 je třetí hodnota buzení objektivové čočky a

K je předem určená hodnota.

2. Postup podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že opatření A je provedeno před nebo po opatření B, přičemž opatření C je provedeno před nebo po opatření D, a přičemž opatření A a B jsou provedena před opatřeními C a D.

3. Postup seřizování mikroskopu se svazkem částic, přičemž mikroskop se svazkem částic obsahuje zdroj částic pro generování svazku částic, objektivovou čočku pro zaostřování svazku částic na objekt, a zařízení pro seřizování svazku umístěné v trajektorii svazku mezi zdrojem částic

a objektivovou čočkou; a přičemž postup zahrnuje následující opatření:

Opatření A: nastavování zařízení pro seřizování svazku do prvního nastavení (W1), nastavování buzení objektivové čočky na první hodnotu (I1) buzení objektivové čočky a pořízení prvního snímku objektu; poté

Opatření B: nastavování zařízení pro seřizování svazku do prvního nastavení (W1), nastavování buzení objektivové čočky na druhou hodnotu (I2) buzení objektivové čočky, která se liší od první hodnoty (I1) buzení objektivové čočky, a pořízení druhého snímku objektu; poté

Opatření C: nastavování zařízení pro seřizování svazku do druhého nastavení (W2), které se liší od prvního nastavení (W1), nastavování buzení objektivové čočky na druhou hodnotu (I2) buzení objektivové čočky a pořízení třetího snímku objektu; poté

Opatření D: nastavování zařízení pro seřizování svazku do druhého nastavení (W2), nastavování buzení objektivové čočky na třetí hodnotu (I3) buzení objektivové čočky, která se liší od první hodnoty (I1) buzení objektivové čočky a od druhé hodnoty (I2) buzení objektivové čočky, a pořízení čtvrtého snímku objektu;

a přičemž postup dále zahrnuje:

určení optimalizovaného nastavení zařízení pro seřizování svazku (Wopt) založené na prvním snímku, druhém snímku, třetím snímku a čtvrtém snímku;

určení třetí hodnoty (I3) buzení objektivové čočky; a

nastavování zařízení pro seřizování svazku do optimalizovaného nastavení (Wopt), nastavování buzení objektivové čočky na třetí hodnotu (I3) buzení objektivové čočky a pořízení alespoň jednoho dalšího snímku;

vyznačující se tím, že třetí hodnota (I3) buzení objektivové čočky je určena tak, že je splněna následující relace:

$$I3 = I1 + K * (I2 - I1)$$

přičemž

I1 je první hodnota buzení objektivové čočky,

I2 je druhá hodnota buzení objektivové čočky,

I3 je třetí hodnota buzení objektivové čočky a

K je předem určená hodnota.

4. Postup podle jednoho z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že dále zahrnuje, před provedením opatření A a B, optimalizaci kritéria ostrosti snímku změnou buzení objektivové čočky a použitím hodnoty buzení objektivové čočky, při které je dosaženo optimalizovaného kritéria ostrosti snímku, jako první hodnoty (I1) buzení objektivové čočky.

5. Postup podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že během optimalizace kritéria ostrosti snímku je zařízení pro seřizování svazku nastaveno do prvního nastavení (W1).

6. Postup podle jednoho z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že dále zahrnuje, po pořízení alespoň jednoho dalšího snímku, optimalizaci kritéria ostrosti snímku změnou buzení objektivové čočky za současného zachování nastavení zařízení pro seřizování svazku do optimálního nastavení (Wopt), a

nastavování zařízení pro seřizování svazku do optimalizovaného nastavení (W_{opt}),

nastavování buzení objektivové čočky na optimalizovanou hodnotu (I_{opt}) buzení objektivové čočky, při které je dosaženo optimalizovaného kritéria ostrosti snímku, a pořízení alespoň jednoho ještě dalšího snímku.

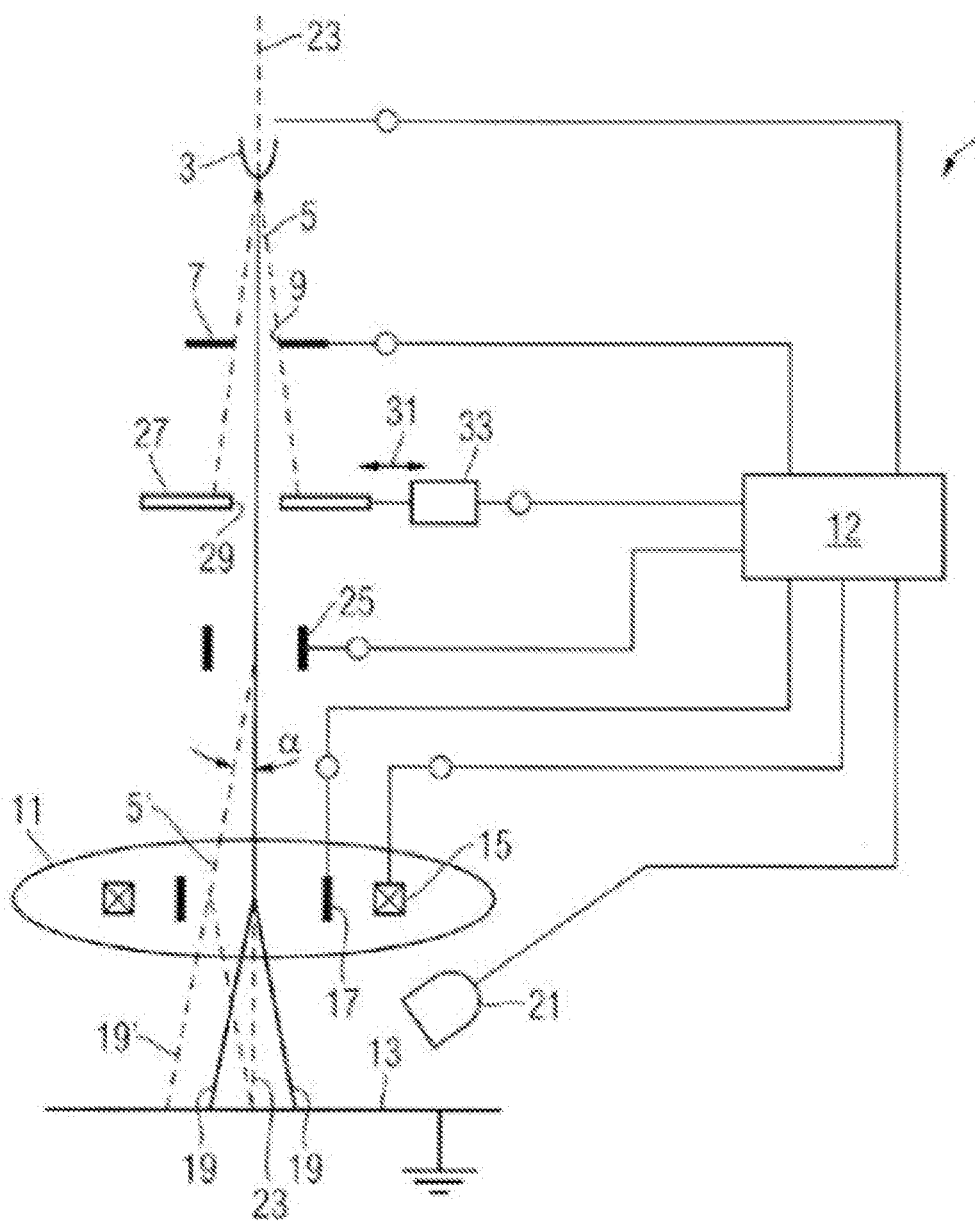
- 5 7. Postup podle jednoho z nároků 1 až 6, **vyznačující se tím**, že zařízení pro seřizování svazku zahrnuje deflektor svazku, zejména elektrostatický deflektor svazku s možností buzení prostřednictvím elektrického napětí a/nebo magnetický deflektor svazku s možností buzení prostřednictvím elektrického proudu, a

10 přičemž nastavování zařízení pro seřizování svazku zahrnuje nastavování buzení deflektoru svazku.

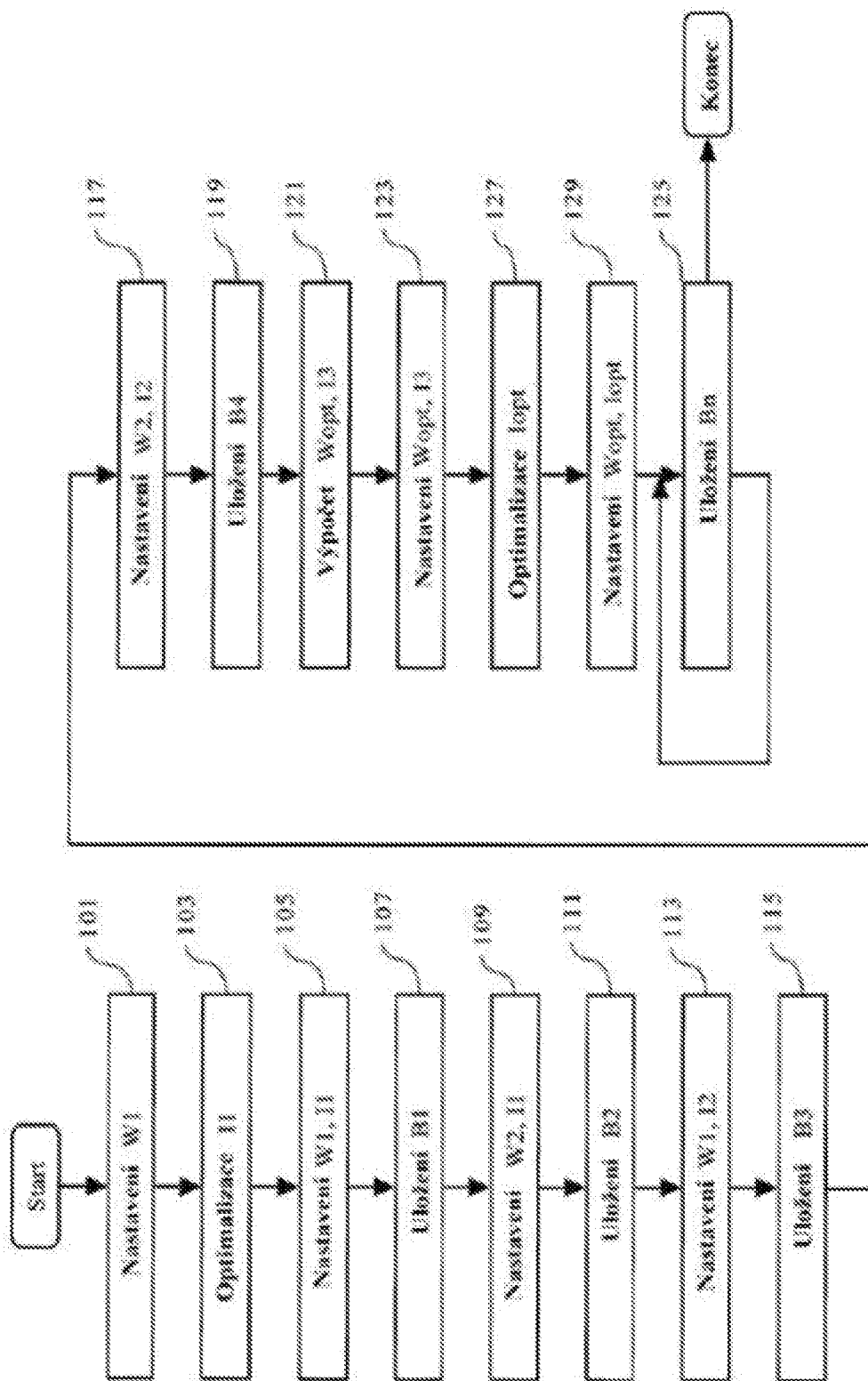
8. Postup podle jednoho z nároků 1 až 7, **vyznačující se tím**, že zařízení pro seřizování svazku zahrnuje clonu, která zahrnuje destičku a otvor umístěný v destičce, kterým prochází svazek částic, přičemž clonu lze přemísťovat alespoň jedním směrem příčně ke směru svazku částic, a

15 přičemž nastavování zařízení pro seřizování svazku zahrnuje nastavování polohy clony alespoň jedním směrem.

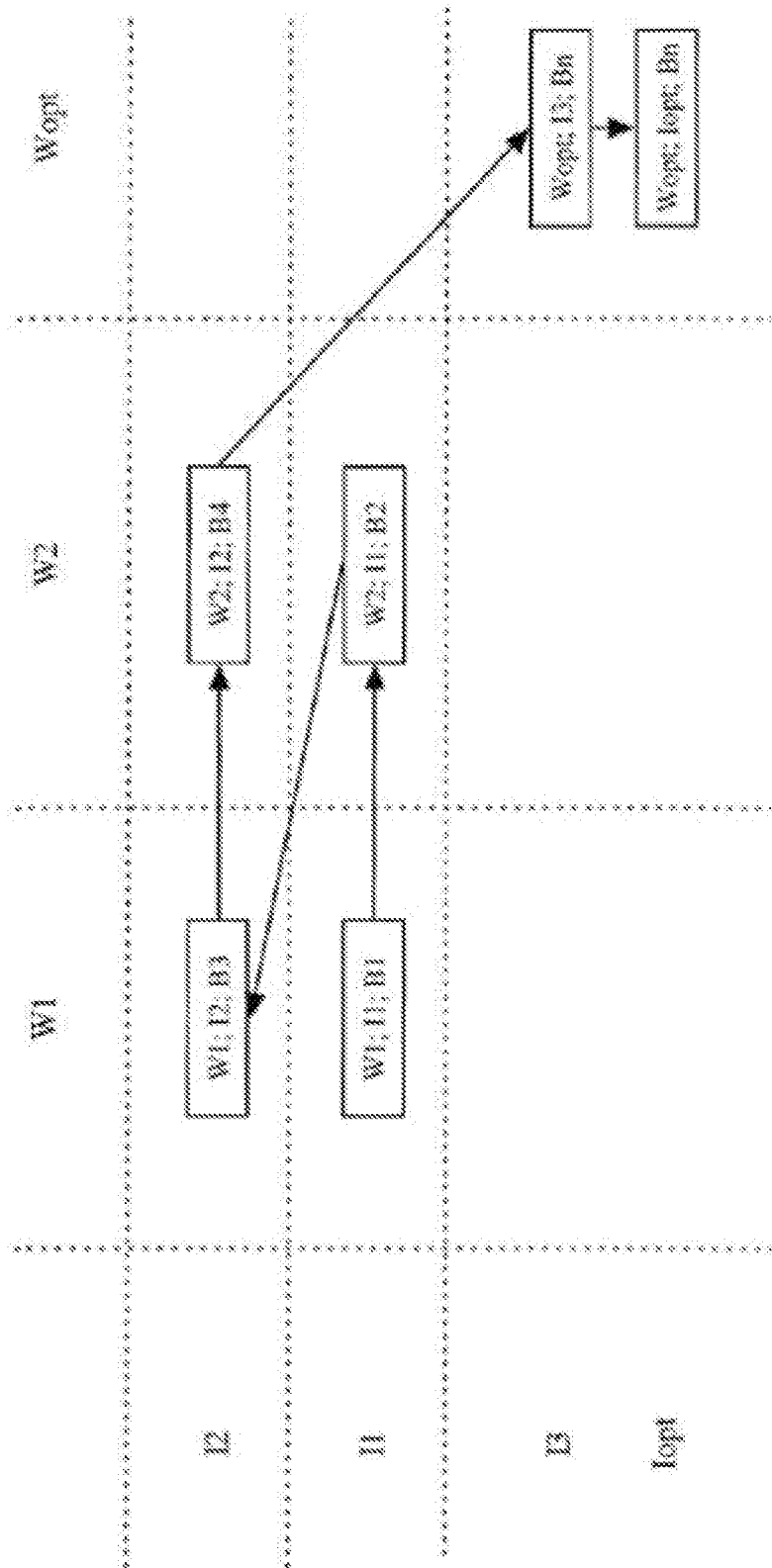
5 výkresů



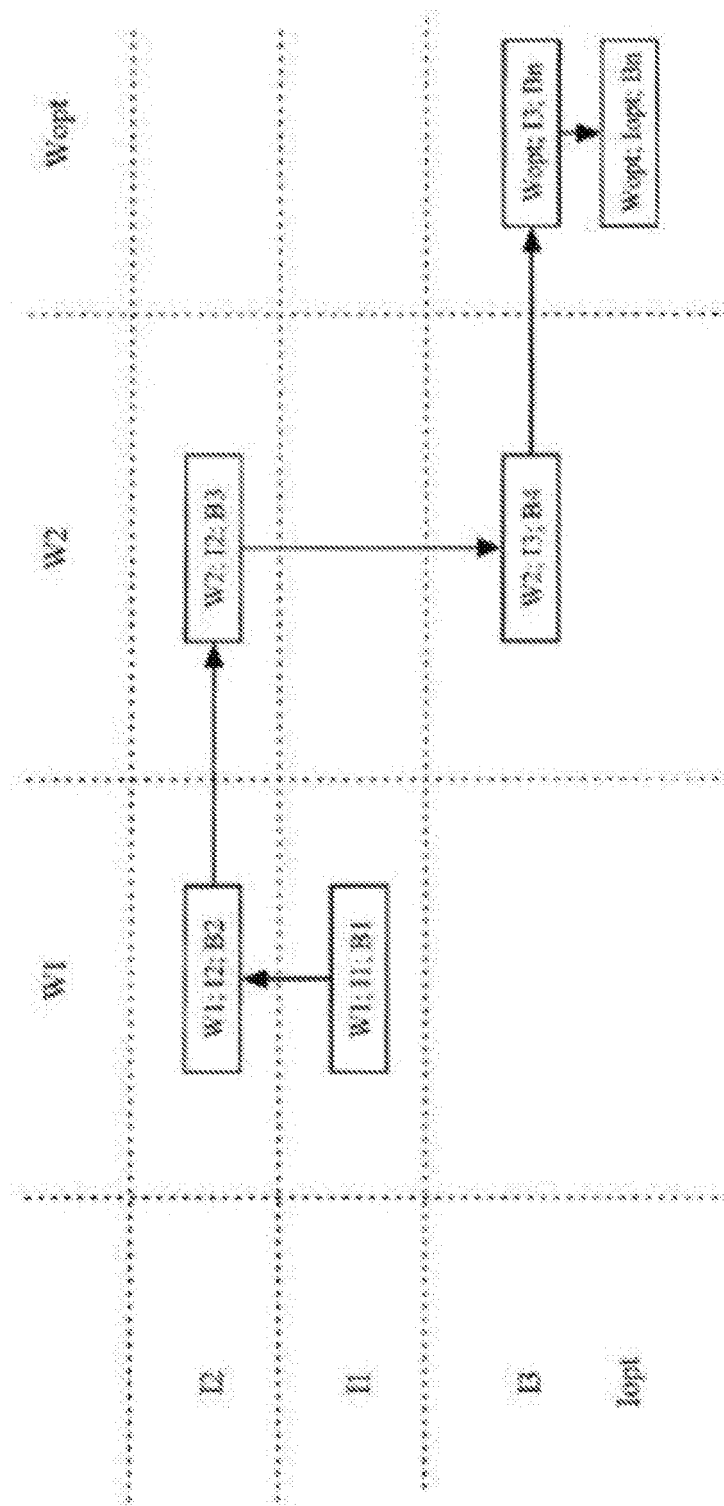
Obr. 1



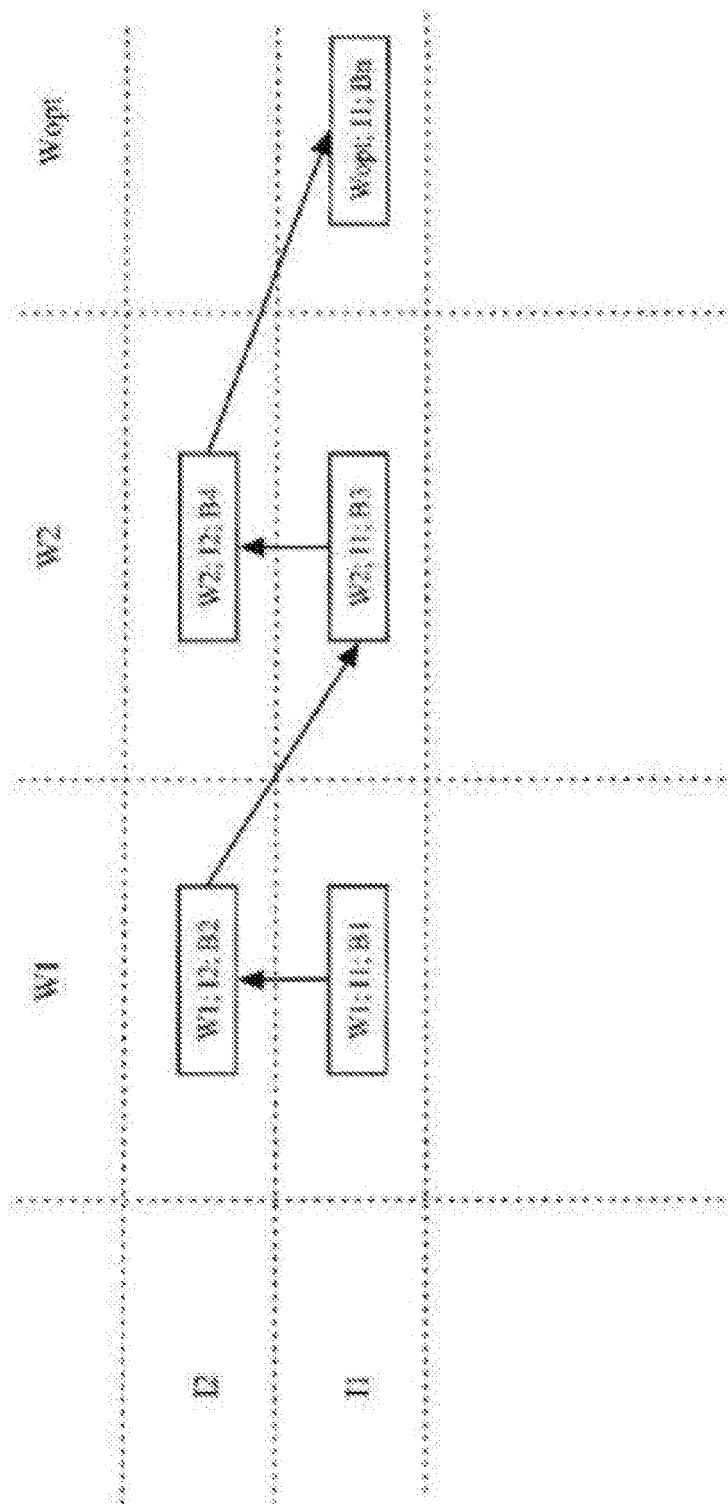
Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5