

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2019-241

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

H01J 37/28 (2006.01)

H01J 37/30 (2006.01)

H01J 37/305 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **15.04.2019**
(32) Datum podání prioritní přihlášky: **16.04.2018**
(32) Číslo prioritní přihlášky: **10 2018 108 974.0**
(32) Země priority: **DE**
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **23.10.2019**
(Věstník č. 43/2019)

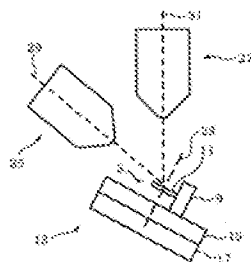
(71) Přihlašovatel:
Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, DE

(72) Původce:
Josef Biberger, Wildenberg, DE
Stefan Lengweiler, Oberkochen, DE

(74) Zástupce:
Kania, Sedlak, Smola, s.r.o., Mendlovo náměstí
907/1a, 603 00 Brno, Staré Brno

(54) Název přihlášky vynálezu:
Postup výroby vzorku pro TEM

(57) Anotace:
Během postupu výroby vzorku pro TEM se objekt (3) upevní na prvek (19) držáku (13) objektu tak, aby ke zpracování určená plocha (11) objektu (3) byla v podstatě umístěna kolmo k ose otáčení (23) prvku (19). Iontový paprsek je směřován pod malým úhlem dopadu na plochu (11) určenou ke zpracování, přičemž prvek (19) zaujímá ve vztahu k ose otáčení (23) různé polohy otáčení, zatímco iontový paprsek je směřován na plochu (11) určenou ke zpracování.



Postup výroby vzorku pro TEM

Oblast techniky

5

Předkládaný vynález se týká postupu výroby vzorku pro TEM s použitím systému paprsků částic.

Dosavadní stav techniky

10

Transmisní elektronová mikroskopie (TEM) je způsob znázornění a analýzy miniaturizovaných objektů o velikosti v řádové hodnotě několika málo nanometrů. TEM je využívána například k analýze integrovaných spínacích prvků. Objekt určený ke zkoumání musí být k tomuto účelu dostatečně tenký, aby elektrony elektronového paprsku mohly proniknout objektem, to znamená

15 transmitovat objektem. Vstupní plocha, na níž se elektronový paprsek setká s objektem, a výstupní plocha, na níž elektronový paprsek z objektu vystupuje, mají být navíc co nejhladší, to znamená, že mají vykazovat co nejmenší drsnost. V některých případech má být vstupní plocha co nejvíce paralelní s výstupní plochou. Existují však také aplikace, v nichž má mít objekt určený ke zkoumání a tím vstupní a výstupní plocha jinou podobu. Objekt splňující tyto předpoklady je

20 vhodný pro analýzu pomocí TEM a je následně označen jako vzorek pro TEM.

K výrobě vzorků pro TEM jsou obvykle používány systémy paprsků částic s jedním sloupkem iontových paprsků a jedním sloupkem elektronových paprsků. Sloupek iontových paprsků slouží ke zpracování objektu, zatímco sloupek elektronových paprsků k vytvoření obrázků objektu a tím

25 ke kontrole objektu. K nastavení polohy a k orientaci objektu ve vztahu ke sloupku iontových paprsků a sloupku elektronových paprsků se používá polohovací zařízení. Polohovací zařízení obsahuje například zkušební stolek, který poskytuje tři translační stupně volnosti a dva rotační stupně volnosti k nastavení polohy a k orientaci objektu vůči sloupku iontových paprsků a sloupku elektronových paprsků. Polohovací zařízení obsahuje často další pomocné konstrukce,

30 které jsou umístěny na zkušebním stolek a které poskytují další stupně volnosti k pohybu objektu. Tyto pomocné konstrukce musejí být z mechanického hlediska zhotoveny jako vysoce přesné a představují další náklady na ovládání a další potenciální zdroje chyb při nastavení polohy a při orientaci objektu.

35 Je tedy žádoucí, aby bylo možno vyrábět vzorky pro TEM bez nutnosti použití takových pomocných konstrukcí.

Patent US 2014 / 0 190 934 A1 popisuje postup a zařízení za účelem přípravy vzorků ke sledování v systému s nabitými paprsky částic takovým způsobem, aby se artefakty snížily

40 nebo se jim zamezilo. Materiál se na vzorku s odloučením paprsků nabitých částic odloučí bezprostředně před mletím nebo v průběhu závěrečného mletí, což vede k povrchu bez artefaktů. Provedení jsou vhodná k výrobě tenkých vzorků pro TEM.

Patent US 2017 / 0 256 380 A1 popisuje techniky, které usnadňují automatizovanou extrakci lamel a nanášení lamel na mřížky k pozorování transmisními elektronovými mikroskopy.

45

Patent US 2015 / 0 001 176 A1 popisuje postup a zařízení ke změně orientace vzorku, který je zpracováván a analyzován pomocí systému paprsků částic.

50 C. Li a kol., "An improved FIB sample preparation technique for site-specific plan-view specimens: A new cutting geometry", Ultramicroscopy 184 (2018), strany 310 až 317, popisuje přípravu vzorku metodou FIB lift-out.

55 L. A. Giannuzzi a kol., "A review of focused ion beam milling techniques for TEM specimen preparation", Micron 30 (1999), strany 197 až 204, popisuje postup výroby vzorků pro transmisní

elektronové mikroskopy při použití zaostřeného iontového paprsku.

Účelem předkládaného vynálezu je postup výroby vzorku pro TEM, při jehož realizaci by se vycházelo z konstruktivně jednoduchých prostředků.

5

Podstata vynálezu

10 K postupu výroby vzorku pro TEM je následně také předložen celkový přehled. V návaznosti jsou detailně popsány jednotlivé kroky tohoto postupu. Výchozí situací pro postup výroby vzorku pro TEM podle vynálezu je těleso s prostorovým rozsahem, který tvoří vzorek pro TEM určený k výrobě.

15 V prvním kroku se část tělesa alespoň částečně oddělí od tělesa tím, že jeden iontový paprsek vyvinutý ze sloupku iontových paprsků je směřován na těleso. Tato část tělesa je následně označena jako objekt. Objekt je fyzicky ještě spojen s tělesem na těch místech, na nichž iontový paprsek nebyl směřován na těleso.

20 Ve druhém kroku je na objektu umístěn manipulátor. Manipulátor je veden například na povrch objektu a při použití iontového paprsku je manipulátor spojen s objektem.

Ve třetím kroku je objekt zcela oddělen od tělesa, například tak, že úsek spojující objekt s tělesem je odstraněn iontovým paprskem. K tomuto okamžiku postupu je objekt nesen manipulátorem a už není fyzicky spojen s tělesem.

25

Alternativně k výše popsaným krokům postupu lze objekt z tělesa uvolnit a spojit s manipulátorem jiným způsobem. Například lze manipulátor nejprve umístit na povrchu tělesa a poté část tělesa fyzicky spojenou s manipulátorem oddělit od tělesa pomocí iontového paprsku.

30 Ve čtvrtém kroku je objekt přepraven za účelem dalšího zpracování k držáku objektu. Například je manipulátorem, na němž je objekt umístěn, pohybováno tak, aby se objekt dostal do kontaktu s držákem objektu. Poté je při použití iontového paprsku objekt upevněn na držáku objektu. Držák objektu tak nese objekt.

35 V navazujícím pátém kroku je manipulátor od objektu uvolněn. Například je manipulátor uvolněn od objektu při použití iontového paprsku. K tomuto okamžiku postupu je samotný objekt nesen držákem objektu. Držákem objektu je například zkušební stolek systému paprsků částíček nebo na zkušebním stolek upevněná TEM mřížka.

40 V šestém kroku je objekt při použití iontového paprsku ztenčen. Například se za účelem dosažení požadované podoby objektu odebere při použití iontového paprsku z objektu materiál. Objekt lze iontovým paprskem zpracovat například tak, že objekt vykazuje dva v podstatě vzájemně paralelní povrchy a vzdálenost mezi těmito povrchy je dostatečně malá pro analýzu TEM. Vzdálenost mezi v podstatě vzájemně paralelními rovinami činí například nejméně 10 nm a
45 nejvýše 1000 nm. Alternativně lze objekt iontovým paprskem zpracovat tak, že má podobu klínu apod. V šestém kroku se objekt ztenčí tak, že vykazuje tloušťku, která je dostatečně malá k tomu, aby mohl být objekt analyzován pomocí TEM.

Po ztenčení objektu může povrch objektu vykazovat drsnost, která je vytvořena ztenčením pomocí iontového paprsku. Pro další vyhlazení povrchu objektu je v sedmém kroku povrch objektu leštěn při použití iontového paprsku, to znamená, že se materiál od objektu odstraní. Alternativně lze ztenčení a leštění objektu provést současně, případně ovlivnit stejnými kroky postupu.

55 Níže jsou detailně popsány kroky postupu za účelem leštění objektu.

Leštění objektu se provádí při použití systému paprsků částic, který obsahuje jeden sloupek iontových paprsků k vyvinutí iontového paprsku a jeden držák objektu k držení, nastavení polohy a k orientaci objektu relativně ke sloupku iontových paprsků. Držák objektu vykazuje jeden
 5 základní prvek, jeden první prvek, jeden druhý prvek, jeden první aktor a jeden druhý aktor. Základní prvek, první prvek a druhý prvek tvoří kinematický řetězec, v němž je působením aktorů umožněn jejich vzájemný pohyb a/nebo jejich vzájemná orientace.

Například je základní prvek umístěn uvnitř vakuové komory systému paprsků částic, přičemž
 10 může být poloha a orientace samotného základního prvku uvnitř vakuové komory nastavena působením nejméně jednoho dalšího aktoru. První prvek se může působením prvního aktoru otáčet relativně k základnímu prvku okolo první osy otáčení. Druhý prvek se může být působením druhého aktoru otáčet relativně k prvnímu prvku okolo druhé osy otáčení. Držák objektu je konfigurován tak, aby byla první osa otáčení orientována v podstatě kolmo k druhé ose
 15 otáčení.

Otáčí-li první aktor první prvek okolo první osy otáčení, otáčí se podle této konfigurace druhý
 prvek rovněž okolo první osy otáčení. Na druhou stranu není prvním prvkem otáčeno okolo
 20 druhé osy otáčení v případě, že druhý aktor otáčí druhý prvek okolo druhé osy otáčení.

Ke ztenčení a/nebo leštění objektu se objekt upevní na druhém prvku držáku objektu.

Objekt se přitom na druhém prvku upevní tak, aby plocha objektu určená ke zpracování byla
 umístěna v podstatě kolmo ke druhé ose otáčení. Objekt se například upevní na druhém prvku
 25 držáku objektu tak, že úhel mezi plochou objektu určenou ke zpracování a druhou osou otáčení činí nejméně 80°, výhodně nejméně 85°, dále výhodně nejméně 89°.

První aktor je ovládán tak, aby hlavní osa sloupku iontových paprsků byla orientována k ploše
 určené ke zpracování pod malým úhlem dopadu, zatímco druhý aktor je ovládán tak, aby druhý
 30 prvek vykazoval ve vztahu k prvnímu prvku první polohu otáčení okolo druhé osy otáčení. „Malý úhel dopadu“ například znamená, že hlavní osa sloupku iontových paprsků uzavírá s plochou určenou ke zpracování úhel, který činí nejvýše 10°.

Během této konfigurace aktorů, to znamená, zatímco hlavní osa sloupku iontových paprsků je k
 35 ploše určené ke zpracování orientována pod malým úhlem dopadu a druhý prvek ve vztahu k prvnímu prvku vykazuje první osu otáčení okolo druhé osy otáčení, je iontový paprsek vyvinutý sloupkem iontových paprsků směřován na objekt za účelem odstranění materiálu z objektu.

Následně je první aktor ovládán tak, aby hlavní osa sloupku iontových paprsků byla (nadále)
 40 orientována k ploše určené ke zpracování pod malým úhlem dopadu, zatímco druhý aktor je ovládán tak, aby druhý prvek ve vztahu k prvnímu prvku vykazoval druhou polohu otáčení okolo druhé osy otáčení, přičemž druhá poloha otáčení je od první polohy otáčení odlišná. V nejjednodušším případě dojde působením druhého aktoru k otočení druhého prvku relativně k prvnímu prvku okolo druhé osy otáčení, čímž je poloha otáčení druhého prvku ve vztahu k
 45 prvnímu prvku převedena z první polohy otáčení do druhé polohy otáčení, zatímco nastavení prvního aktoru zůstane nezměněno.

V této konfiguraci aktorů, to znamená, zatímco je hlavní osa sloupku iontových paprsků
 orientována k ploše určené ke zpracování pod malým úhlem dopadu a druhý prvek ve vztahu k
 50 prvnímu prvku vykazuje druhou polohu otáčení okolo druhé osy otáčení, je iontový paprsek vyvinutý sloupkem iontových paprsků směřován na objekt za účelem odstranění (obnoveného) materiálu.

Tímto způsobem je iontový paprsek směřován na objekt z různých směrů, ale vždy pod malým
 55 úhlem dopadu k ploše určené ke zpracování. Nepravidelnosti povrchu objektu, to znamená

drsnost objektu, která vznikla předchozím zpracováním objektu, lze tímto způsobem snížit. Speciálním uspořádáním objektu (přesněji řečeno plochy objektu určené ke zpracování) relativně ke druhému prvku držáku objektu, konfigurace samotného držáku objektu a orientace hlavní osy sloupku iontových paprsků (přesněji řečeno iontového paprsku) relativně k ploše určené ke zpracování lze snížit drsnost plochy určené ke zpracování, a to tak, že se okolo druhé osy otáčení otočí pouze druhý prvek a iontový paprsek u dvou odlišných poloh otáčení druhého prvku ve vztahu k prvnímu prvku je směřován na objekt okolo druhé osy otáčení. Touto speciální konfigurací lze snížit drsnost povrchu určeného ke zpracování, aniž by byla ke zkušebnímu stolku nutná přídatná pomocná zařízení. To zjednodušuje konfiguraci a snižuje náklady na ovládání systému použitého k realizaci postupu.

Na základě provedení uvedeného jako příklad se první poloha otáčení od druhé polohy otáčení liší o nejméně 5° , výhodně o nejméně 10° . To znamená, že při převedení druhého prvku držáku objektu z první polohy otáčení do druhé polohy otáčení provede druhý prvek ve vztahu k prvnímu prvku otáčku okolo druhé osy otáčení nejméně 5° , výhodně nejméně 10° a/nebo nejvýše 45° , výhodně nejvýše 35° .

Na základě provedení uvedeného jako příklad tvoří druhý prvek poslední kinematický prvek, pokud jde o (rotační) stupně volnosti umožněné držákem objektu. To znamená, že je objekt upevněn na tom prvku držáku objektu, který ve vztahu k základnímu prvku vykazuje nejvíce (rotačních) stupňů volnosti pohybu. Jinými slovy je objekt na držáku objektu upevněn tak a držák objektu je vytvořen tak, aby mezi objektem a druhým prvkem držáku objektu neexistoval žádný ovladatelný stupeň volnosti pohybu.

Držák objektu může být konfigurován tak, aby byla realizována otáčivost prvního prvku relativně k základnímu prvku okolo první osy otáčení bez stupňů volnosti mezi nimi. To znamená, že v kinematickém řetězci mezi základnou a prvním prvkem nehledě k otáčivosti okolo první osy otáčení neexistují žádné další ovladatelné stupně volnosti, zejména žádné další rotační stupně volnosti. Například základna a první prvek jsou vždy spojeny přímo s prvním úložným zařízením, které umožní stupeň volnosti otáčivosti okolo první osy otáčení, avšak také i znemožní další (rotační) stupně volnosti.

Držák objektu může být konfigurován tak, aby byla umožněna otáčivost druhého prvku relativně k prvnímu prvku okolo druhé osy otáčení bez stupňů volnosti mezi nimi. To znamená, že v kinematickém řetězci mezi prvním prvkem a druhým prvkem nehledě k otáčivosti okolo druhé osy otáčení neexistují žádné další ovladatelné stupně volnosti, zejména žádné další rotační stupně volnosti. Například první prvek a druhý prvek jsou vždy spojeny přímo s druhým úložným zařízením, které umožní stupeň volnosti otáčivosti okolo druhé osy otáčení, avšak také zamezí dalším (rotačním) stupňům volnosti. Vzhledem ke konfiguraci držáku objektu je upevnění objektu na druhém prvku (alespoň ve vztahu k otáčkám) nehybné.

Na základě provedení uvedeného jako příklad je iontový paprsek během otočení druhého prvku z první polohy otáčení do druhé polohy otáčení alespoň dočasně směřován na objekt. Zejména je iontový paprsek během doby otáčení druhého prvku z první polohy otáčení do druhé polohy otáčení směřován na objekt. Tím je iontový paprsek směřován na objekt z více směrů, avšak vždy pod malým úhlem dopadu k ploše určené ke zpracování, čímž se povrch objektu lépe vyhladí.

Alternativně může být iontový paprsek během otáčení druhého prvku z první polohy do druhé polohy otáčení nesměrován na objekt.

Na základě výhodného provedení je objekt před ztenčením/leštěním uspořádán tak, aby druhá osa otáčení pronikala plochou určenou ke zpracování. Tímto způsobem lze zjednodušit ovládání aktorů, poněvadž při otáčení druhého prvku okolo druhé osy otáčení provede plocha určená ke zpracování relativně k prvnímu prvku v podstatě pouze jednu otáčku a nikoli translaci. Aby zůstal iontový paprsek při otáčení druhého prvku okolo druhé osy otáčení směřován na plochu

určenou ke zpracování, nemusí být u tohoto provedení kompenzována translace plochy určené ke zpracování relativně k prvnímu prvku (a tím také relativně ke sloupci iontových paprsků).

5 Na základě alternativního provedení je objekt před ztenčením/leštěním uspořádán tak, aby druhá osa otáčení nepronikala plochou objektu určenou ke zpracování

Na základě výhodného provedení obsahuje systém paprsků částecí k realizaci postupu dále sloupek elektronových paprsků. Hlavní osa sloupku elektronových paprsků a hlavní osa sloupku iontových paprsků mohou pronikat společným pracovním rozsahem, v němž může být umístěn objekt při použití držáku objektu. Hlavní osa sloupku elektronových paprsků a hlavní osa sloupku iontových paprsků mohou v podstatě ležet ve společné rovině. V tomto provedení může být základní prvek držáku objektu vyrovnán tak, například působením jednoho nebo více aktorů, že první osa otáčení bude orientována v podstatě kolmo ke společné rovině. To umožňuje, aby byl samotný objekt určený ke zpracování nastavením prvního aktoru, to znamená otáčením prvního prvku držáku objektu relativně k základnímu prvku držáku objektu vyrovnán na hlavní osu sloupku elektronových paprsků a/nebo na hlavní ose sloupku iontových paprsků. Dále může být v této konfiguraci, ve které je první osa otáčení orientována kolmo k hlavní ose sloupku iontových paprsků, jednoduše nastaven úhel mezi povrchem objektu určeným ke zpracování a hlavní osou sloupku iontových paprsků a tím úhel dopadu iontového paprsku na povrch objektu určený ke zpracování, čímž se nastaví pouze první aktor. Tato konfigurace má tudíž takový synergetický efekt, že jak úhel dopadu iontového paprsku na povrch objektu určený ke zpracování, tak také vyrovnání objektu na jak hlavní osu sloupku elektronových paprsků, tak i hlavní osu sloupku iontových paprsků lze ovlivnit nastavením jediného aktoru, a sice prvního aktoru.

25 Ke kontrole úspěchu výrobního postupu, to znamená ke kontrole stavu objektu při zpracování objektu iontovým paprskem, může být směřován jeden elektronový paprsek vyvinutý sloupkem elektronových paprsků na objekt a elektrony vycházející od objektu mohou být detekovány. Tímto způsobem lze během zpracování objektu zachytit obrázky objektu při použití elektronového paprsku.

30 Na základě výhodného provedení obsahuje držák objektu nejméně jeden další aktor, který je konfigurován k translaci druhého prvku ve vztahu k základnímu prvku v nejméně dvou, výhodně třech různých směrech. Tím může být objekt uspořádán tak, aby hlavní osa sloupku iontových paprsků a/nebo hlavní osa sloupku elektronových paprsků pronikala objektem, případně aby objekt byl umístěn ve společném pracovním rozsahu sloupku iontových paprsků a sloupku elektronových paprsků.

Objasnění výkresů

40 Následně jsou detailně popsána provedení podle předkládaného vynálezu ve vztahu k přiloženým výkresům.

Obrázky 1 až 5 znázorňují různá stadia objektu během výroby vzorku pro TEM;

45 Obrázek 6 znázorňuje držák objektu s objektem upevněným na něm;

Obrázek 7 znázorňuje prostorové uspořádání objektu znázorněného na obrázku 6 ve vztahu ke sloupcům iontových paprsků a sloupcům elektronových paprsků;

50 Obrázek 8 představuje zvětšené znázornění uspořádání zobrazeného na obrázku 7; a

Obrázky 9 a 10 představují prostorové uspořádání situace znázorněné na obrázcích 7 a 8 z úhlu pohledu druhé osy otáčení.

55

Příklady uskutečnění vynálezu

Obrázky 1 až 5 představují základní kroky při výrobě vzorku pro TEM. Jak je znázorněno na obrázku 1, obsahuje těleso 1, které je znázorněno přerušovanými čarami, objekt 3. Objekt 3 je objemový rozsah tělesa 1 a zahrnuje takový objemový obsah, který tvoří vzorek pro TEM.

K výrobě vzorku pro TEM je v prvním kroku objekt 3 alespoň částečně oddělen od tělesa 1. K tomuto účelu je iontový paprsek 5 směřován z více různých směrů na těleso 1, čímž se odstraní materiál z tělesa 1. Objekt 3 však není z tělesa 1 oddělen úplně, nýbrž zůstane ještě s tělesem 1 fyzicky spojen, takže těleso 1 nese objekt 3.

Ve druhém kroku je manipulátor 7 umístěn na částečně od tělesa 1 odděleném objektu 3, jak znázorňuje obrázek 2. Například je manipulátor 7 přiveden do kontaktu s objektem 3 a místo kontaktu je následně ozářeno iontovým paprskem za účelem spojení objektu 3 s manipulátorem 7. V tomto stadiu postupu je objekt 3 nesen jak tělesem 1, tak i manipulátorem 7.

Ve třetím kroku je objekt 3 od tělesa 1 zcela oddělen. K tomuto účelu je například iontový paprsek směřován na ta místa tělesa 1, která objekt 3 ještě spojují s tělesem 1. Tím je objekt 3 zcela oddělen od tělesa 1 a objekt 3 je nyní nesen výhradně manipulátorem 7. Objekt 3 lze nyní při použití manipulátoru 7 odstranit od tělesa 1.

Ve čtvrtém kroku je objekt 3 při použití manipulátoru 7 přenesen od tělesa 1 k držáku objektu. Na obrázku 3 je znázorněna část držáku objektu, která je obvykle označena jako „TEM mřížka“. TEM mřížka 9 je obvykle těleso makroskopické velikosti, které lze přepravit například pomocí pinzety.

Po přenesení objektu 3 při použití manipulátoru 7 k TEM mřížce 9 se objekt 3 například při použití iontového paprsku upevní na TEM mřížce 9, což zakončí krok týkající se přenosu.

V pátém kroku se manipulátor 7 uvolní od objektu 3, poté co byl objekt 3 přenesen k TEM mřížce 9. Tato situace je znázorněna na obrázku 4.

Objekt 3 obsahuje objemový rozsah, který má tvořit konečný vzorek pro TEM. Poněvadž objekt 3 není v tomto stadiu postupu výroby ještě obvykle dostatečně tenký pro analýzu pomocí TEM a vstupní plocha a výstupní plocha nejsou pro analýzu pomocí TEM ještě dostatečně hladké, je objekt 3 v šestém kroku ztenčen při použití iontového paprsku. Během ztenčování objektu 3 je iontovým paprskem odstraněn materiál z objektu.

Obrázek 5 znázorňuje objekt 3 po ztenčení. Objekt 3 má v tomto stadiu procesu výroby zpravidla plochý tvar, to znamená, že rozměr objektu 3 ve směru z je značně menší než rozměr objektu 3 ve směru x a ve směru y. Tloušťka objektu 3, to znamená rozměr objektu 3 ve směru z, činí například pouze 1000 nm nebo méně, zatímco rozměr objektu 3 ve směru x a ve směru y činí několik mikrometrů. Plocha 11 slouží při analýze objektu 3 pomocí TEM jakožto vstupní a/nebo výstupní plocha pro elektronový paprsek. K tomuto účelu musí být plocha 11 co nejhladší. Za účelem vyhlazení plochy 11, to znamená snížení drsnosti plochy 11, je plocha 11 leštěna na základě níže popsaného postupu.

Alternativně lze ztenčení a leštění provést společně v jednom společném kroku.

Ztenčení/leštění objektu 3 se provádí při použití systému paprsků částic, který obsahuje jeden sloupek iontových paprsků a jeden držák 13 objektu. Držák 13 objektu znázorněný na obrázku 6 obsahuje jeden základní prvek 15, jeden první prvek 17 a jeden druhý prvek 19. Dále obsahuje držák 13 objektu jeden první aktor, který je konfigurován k tomu, aby se první prvek 17 otáčel vůči základnímu prvku 15 okolo první osy otáčení 21. Držák 13 objektu dále obsahuje jeden

druhý aktor, který je konfigurován k tomu, aby se druhý prvek 19 otáčel vůči prvnímu prvku 17 okolo druhé osy otáčení 23. Držák 13 objektu může obsahovat další aktory pro nastavení polohy a orientace základního prvku 15. První osa otáčení 21 je orientována v podstatě kolmo ke druhé ose otáčení 23. Držák 13 objektu je umístěn například ve vakuové komoře systému paprsků částic.

Objekt 3 byl upevněn v předchozím kroku na TEM mřížku 9. Přes TEM mřížku 9 se objekt 3 upevní na druhém prvku 19 držáku 13 objektu tak, aby plocha 11, která bude dále zpracována, byla orientována v podstatě kolmo ke druhé ose otáčení 23. To znamená, že pokud se druhý prvek 19 otočí vůči prvnímu prvku 17 okolo druhé osy otáčení 23, zůstane plocha 11 během otočení uvnitř jedné roviny, která stojí kolmo ke druhé ose otáčení 23 a je paralelní ke ploše 11 objektu 3.

Je nutno zdůraznit, že základní prvek 15, první prvek 17 a druhý prvek 19 tvoří kinematický řetězec, přičemž druhý prvek je posledním prvkem kinematického řetězce ve vztahu k základnímu prvku 15. To znamená, že ve vztahu k základnímu prvku 15 vykazuje druhý prvek 19 nejvíce (rotačních) stupňů volnosti pohybu. Druhý prvek 19 vykazuje u příkladu znázorněném na obrázku 6 dva (rotační) stupně volnosti pohybu ve vztahu k základnímu prvku 15, a sice stupeň volnosti otáčení okolo druhé osy otáčení 23 a stupeň volnosti otáčení okolo první osy otáčení 21 (přes první prvek 17). První prvek 17 vykazuje ve vztahu k základnímu prvku 15 jeden (rotační) stupeň volnosti pohybu, a sice stupeň volnosti otáčení okolo první osy otáčení 21.

Objekt 3 je nehybně upevněn na druhém prvku 19, to znamená, že mezi objektem 3 a druhým prvkem 19 neexistuje žádný ovladatelný stupeň volnosti pohybu. Přiměřeně tomu provede objekt 3 stejné pohyby jako druhý prvek 19.

Držák 13 objektu je přiměřeně tomu vytvořen tak, aby se druhý prvek 19 otáčel okolo první osy otáčení 21, pokud se první prvek 17 otáčí působením prvního aktoru okolo první osy otáčení 21. První prvek 17 se však neotáčí okolo druhé osy otáčení 23 v případě, že druhý prvek 19 se působením druhého aktoru otáčí relativně k prvnímu prvku 17 okolo druhé osy otáčení 23.

Obrázek 7 znázorňuje uspořádání objektu 3 ve vztahu ke sloupku 25 iontových paprsků a sloupku 27 elektronových paprsků systému paprsků částic. Přerušovaná čára 29 představuje hlavní osu sloupku 25 iontových paprsků. Přerušovaná čára 31 představuje hlavní osu sloupku 27 elektronových paprsků. Pro jednodušší znázornění zobrazuje obrázek 7 pouze první prvek 17 a druhý prvek 19 držáku 13 objektu. Dále je znázorněna druhá osa otáčení 23. První osa otáčení 21 stojí kolmo na nákresně obrázku 7.

Obrázek 8 je zvětšeným znázorněním uspořádání zobrazeného na obrázku 7 pro vysvětlení prostorových vztahů mezi objektem 3, druhou osou otáčení 23 a hlavní osou otáčení 29 sloupku 25 iontových paprsků.

První aktor je ovládán tak, aby hlavní osa 29 sloupku 25 iontových paprsků byla k ploše 11 určené ke zpracování orientována pod malým úhlem dopadu, zatímco druhý aktor je ovládán tak, aby druhý prvek 19 vykazoval ve vztahu k prvnímu prvku 17 první polohu otáčení okolo druhé osy otáčení 23. Hlavní osa 29 sloupku 25 iontových paprsků uzavírá s plochou 11 určenou ke zpracování úhel α , který činí například nejvýše 10° . Za této podmínky dopadá iontový paprsek vyvinutý sloupkem 25 iontových paprsků pod malým úhlem dopadu na plochu 11 určenou ke zpracování.

Obrázek 9 znázorňuje prostorové uspořádání, v němž druhý prvek 19 vykazuje ve vztahu k prvnímu prvku 17 první polohu otáčení okolo druhé osy otáčení 23, z úhlu pohledu podél druhé osy otáčení 23. Úhel pohledu je na obrázku 8 naznačen šipkou 30.

Zatímco hlavní osa 29 sloupku 25 iontových paprsků je orientována k ploše 11 určené ke

zpracování pod malým úhlem dopadu a druhý prvek 19 ve vztahu k prvnímu prvku 17 vykazuje první osu otáčení okolo druhé osy otáčení 23, je jeden iontový paprsek vyvinutý sloupkem 25 iontových paprsků směřován na objekt 3 (přesněji řečeno na plochu 11 určenou ke zpracování). Tím se odstraní materiál z plochy 11 určené ke zpracování, čímž se sníží drsnost plochy 11.

5

Následně je první aktor (nadále) ovládán tak, aby byla hlavní osa 29 sloupku 25 iontových paprsků orientována k ploše 11 určené ke zpracování pod malým úhlem dopadu, zatímco druhý aktor je ovládán tak, aby druhý prvek 19 vykazoval ve vztahu k prvnímu prvku 17 druhou polohu otáčení okolo druhé osy otáčení 23. Druhá poloha otáčení je od první polohy otáčení odlišná. Převodu z první polohy otáčení do druhé polohy otáčení se dosáhne například tím, že druhý prvek 19 se otáčí vůči prvnímu prvku 17 okolo druhé osy otáčení 23.

10

Obrázek 10 znázorňuje prostorové uspořádání, v němž druhý prvek 19 vykazuje ve vztahu k prvnímu prvku 17 druhou polohu otáčení okolo druhé osy otáčení 23, z úhlu pohledu podél druhé osy otáčení 23. Úhel pohledu je na obrázku 8 naznačen šipkou 30. K převodu druhého prvku 19 z první polohy otáčení znázorněné na obrázku 9 ve vztahu ke druhé ose otáčení 23 do druhé polohy otáčení znázorněné na obrázku 10 byl druhý aktor nastaven tak, aby druhý prvek 19 provedl vůči prvnímu prvku 17 otáčku okolo druhé osy otáčení 23. Na znázornění zobrazeném na obrázcích 9 a 10 byl přiměřeně tomu druhý prvek 19, který je zobrazen šipkou 33, otočen ve směru hodinových ručiček.

20

Protože plocha 11 určená ke zpracování je orientována v podstatě kolmo ke druhé ose otáčení 23 (srov. obrázek 8), zůstane hlavní osa 29 sloupku 25 iontových paprsků během otáčení druhého prvku okolo druhé osy otáčení k ploše 11 určené ke zpracování orientována pod malým úhlem dopadu. K převodu druhého prvku 19 z první osy otáčení do druhé osy otáčení se druhý prvek 19 otočí vůči prvnímu prvku 17 například o nejméně 5°, výhodně nejméně 10°.

25

Zatímco je hlavní osa 29 sloupku 25 iontových paprsků orientována k ploše 11 určené ke zpracování pod malým úhlem dopadu a druhý prvek 19 ve vztahu k prvnímu prvku 17 vykazuje druhou polohu otáčení, je iontový paprsek vyvinutý sloupkem 25 iontových paprsků směřován na objekt 3 (přesněji řečeno na plochu 11 určenou ke zpracování), čímž je materiál odnesen z objektu 3.

30

Výše popsaným postupem je iontový paprsek pod malým úhlem dopadu z různých směrů směřován na plochu určenou ke zpracování, čímž se sníží drsnost plochy. Tímto způsobem je zakončen proces ztenčení/leštění a výroba vzorku pro TEM je ukončena.

35

Během převodu druhého prvku 19 z první osy otáčení do druhé osy otáčení lze iontový paprsek vyvinutý sloupkem 25 iontových paprsků zcela nebo dočasně směřovat na objekt nebo jej na objekt nesměrovat vůbec.

40

Jak je znázorněno na obrázcích 7 a 8, lze objekt 3, případně ke zpracování určenou plochu 11 objektu 3 upevnit na druhém prvku 19 držáku 13 objektu tak, aby druhá osa otáčení 23 pronikala objektem 3, případně ke zpracování určenou plochou 11 objektu 3. Alternativně lze, jak je znázorněno na obrázku 6, objekt 3, příp. ke zpracování určenou plochu 11 objektu 3 upevnit na druhém prvku 19 držáku 13 objektu tak, aby druhá osa otáčení 23 nepronikala objektem 3, příp. ke zpracování určenou plochou 11 objektu 3.

45

V souvislosti s výše popsanými provedeními byl popsán držák 13 objektu, který umožňuje pouze dva stupně volnosti pohybu, a sice stupeň volnosti otáčení okolo první osy otáčení 21 a stupeň volnosti otáčení okolo druhé osy otáčení 23. Držák objektu však může umožňovat další stupeň volnosti pohybu, například translační stupeň volnosti pohybu.

50

55

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Postup výroby vzorku pro TEM při použití systému paprsků částic, který obsahuje jeden sloupek (25) iontových paprsků a jeden držák (13) objektu, přičemž držák (13) objektu vykazuje
 5 jeden základní prvek (15), jeden první prvek (17), jeden druhý prvek (19), jeden první aktor a jeden druhý aktor, přičemž první aktor je konfigurován k tomu, aby se první prvek (17) otáčel vůči základnímu prvku (15) okolo první osy otáčení (21), přičemž druhý aktor je konfigurován k tomu, aby se druhý prvek (19) otáčel vůči prvnímu prvku (17) okolo druhé osy otáčení (23), a přičemž je první osa otáčení (21) orientována v podstatě kolmo ke druhé ose otáčení (23);

10 přičemž postup zahrnuje:

upevnění objektu (3) na druhém prvku (19) držáku (13) objektu tak, aby ke zpracování určená plocha (11) objektu (3) byla orientována v podstatě kolmo ke druhé ose otáčení (23); a

15 výrobu vzorku pro TEM leštěním objektu (3), přičemž leštění zahrnuje:

– ovládání prvního aktoru tak, aby hlavní osa (29) sloupku (25) iontových paprsků byla orientována pod malým úhlem dopadu (α) k ploše (11) určené ke zpracování, a druhého
 20 aktoru tak, aby druhý prvek (19) vykazoval ve vztahu k prvnímu prvku (17) první polohu otáčení okolo druhé osy otáčení (23);

– směřování iontového paprsku vyvinutého sloupkem (25) iontových paprsků na objekt (3), zatímco hlavní osa (29) sloupku (25) iontových paprsků je orientována pod malým úhlem
 25 dopadu (α) k ploše (11) určené ke zpracování a druhý prvek (19) vykazuje ve vztahu k prvnímu prvku (17) první polohu otáčení okolo druhé osy otáčení (23);

– ovládání prvního aktoru tak, aby hlavní osa (29) sloupku (25) iontových paprsků byla orientována pod malým úhlem dopadu (α) k ploše (11) určené ke zpracování, a druhého
 30 aktoru tak, aby druhý prvek (19) vykazoval ve vztahu k prvnímu prvku (17) druhou polohu otáčení okolo druhé osy otáčení (23), přičemž druhá poloha otáčení je od první polohy otáčení odlišná; a

– směřování iontového paprsku vyvinutého sloupkem (25) iontových paprsků na objekt (3), zatímco hlavní osa (29) sloupku (25) iontových paprsků je orientována pod malým úhlem
 35 dopadu (α) k ploše (11) určené ke zpracování a druhý prvek (19) vykazuje ve vztahu k prvnímu prvku (17) druhou polohu otáčení okolo druhé osy otáčení (23).

2. Postup podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že objekt (3) je na druhém prvku (19) upevněn tak a držák (13) objektu je vytvořen tak, aby mezi objektem (3) a druhým prvkem (19)
 40 neexistoval žádný ovladatelný stupeň volnosti pohybu.

3. Postup podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že držák (13) objektu je vytvořen tak, aby mezi druhým prvkem (19) a prvním prvkem (17) neexistoval žádný další ovladatelný rotační
 45 stupeň volnosti pohybu.

4. Postup podle některého z nároků 1 až 3,

vyznačující se tím, že držák (13) objektu je vytvořen tak, aby se druhý prvek (19) otáčel okolo
 50 první osy otáčení (21) v případě, že se první prvek (17) otáčí okolo první osy otáčení (21) a/nebo

přičemž je držák (13) objektu vytvořen tak, aby se první prvek (17) neotáčel okolo druhé osy otáčení (23) v případě, že se druhý prvek (19) otáčí okolo druhé osy otáčení (23).

5. Postup podle některého z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že se první poloha otáčení liší od druhé polohy otáčení o nejméně 5° , výhodně nejméně o 10° a/nebo nejvýše o 45° , výhodně nejvýše o 35° .
- 5 6. Postup podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že je iontový paprsek směřován alespoň dočasně na objekt (3), zatímco druhý prvek (19) se otáčí z první polohy otáčení do druhé polohy otáčení okolo druhé osy otáčení (23).
- 10 7. Postup podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že iontový paprsek není směřován na objekt (3), zatímco druhý prvek (19) se otáčí z první polohy otáčení do druhé polohy otáčení okolo druhé osy otáčení (23).
8. Postup podle některého z nároků 1 až 7, **vyznačující se tím**, že dále zahrnuje:
- 15 alespoň částečné oddělení objektu (3) od tělesa (1) při použití iontového paprsku (5) vyvinutého sloupkem iontových paprsků;
- umístění manipulátoru (7) na částečně odděleném objektu (3);
- 20 úplné oddělení objektu (3), na němž je umístěn manipulátor (7), od tělesa (1);
- přenos objektu (3) z tělesa (1) k držáku (13) objektu při použití manipulátoru (7);
- uvolnění manipulátoru (7) od objektu (3) po upevnění objektu (3) na druhém prvku (19) držáku (13) objektu;
- 25 ztenčení a/nebo provedení leštění objektu (3) upevněného na druhém prvku (19) při použití iontového paprsku vyvinutého sloupkem (25) iontových paprsků.
- 30 9. Postup podle některého z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že je objekt (3) upevněn na druhém prvku (19) tak, aby úhel mezi plochou (11) určenou ke zpracování objektu (3) a druhou osou otáčení (23) činil nejméně 80° , výhodně nejméně 85° , dále výhodně nejméně 89° .
10. Postup podle některého z nároků 1 až 9, **vyznačující se tím**, že je první aktor ovládán tak, aby hlavní osa (29) sloupku (25) iontových paprsků uzavírala s plochou (11) určenou ke zpracování úhel (α), který činí nejvýše 10° .
- 35 11. Postup podle některého z nároků 1 až 10, **vyznačující se tím**, že postup před leštěním objektu (3) dále zahrnuje:
- 40 vyrovnání základního prvku (15) tak, aby první osa otáčení (21) byla v podstatě orientována kolmo k hlavní ose (29) sloupku (25) iontových paprsků.
12. Postup podle některého z nároků 1 až 11, **vyznačující se tím**, že systém paprsků částic dále obsahuje jeden sloupek (27) elektronových paprsků, přičemž hlavní osa (31) sloupku (27) elektronových paprsků a hlavní osa (29) sloupku (25) iontových paprsků v podstatě leží v jedné společné rovině a pronikají jedním společným pracovním rozsahem;
- 45 přičemž postup před leštěním objektu (3) dále zahrnuje:
- 50 vyrovnání základního prvku (15) tak, aby první osa otáčení (21) byla orientována v podstatě kolmo ke společné rovině.
13. Postup podle nároku 12, **vyznačující se tím**, že dále zahrnuje:
- 55

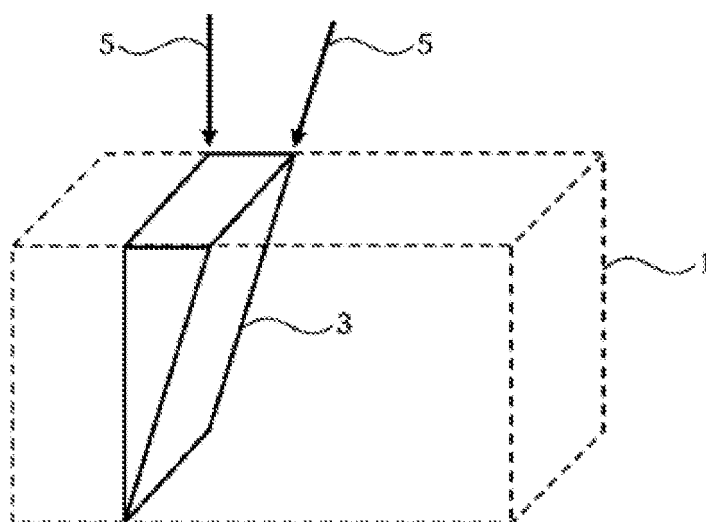
vyrovnání elektronového paprsku vyvinutého sloupkem (27) elektronových paprsků na objekt (3) a detekci elektronů vycházejících z objektu (3).

- 5 14. Postup podle některého z nároků 1 až 13, **vyznačující se tím**, že držák (13) objektu obsahuje nejméně jeden další aktor, který je konfigurován k tomu, aby byl druhý prvek (19) ve vztahu k základnímu prvku (15) přenesen do nejméně dvou různých směrů; a

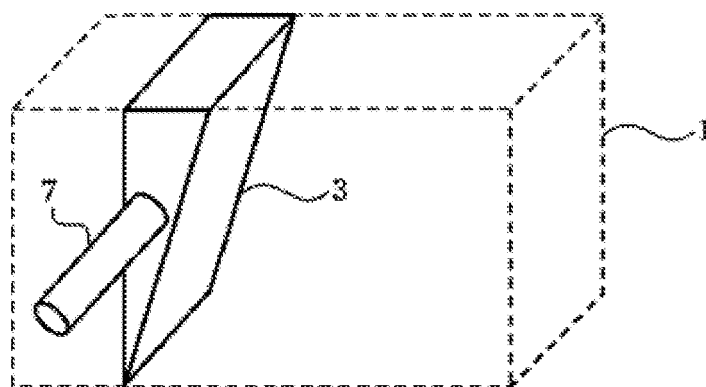
příčemž postup dále zahrnuje:

- 10 ovládání alespoň jednoho dalšího aktoru držáku (13) objektu tak, aby hlavní osa (29) sloupku (25) iontových paprsků pronikala objektem (3).

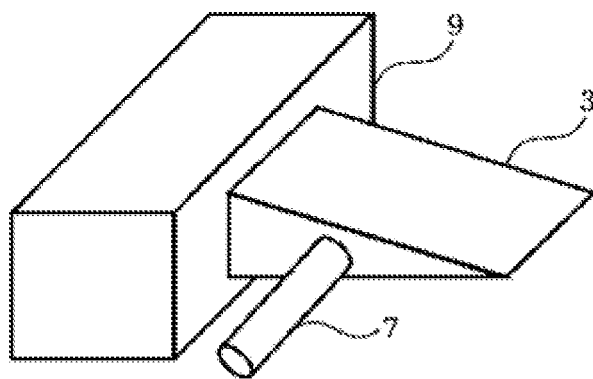
5 výkresů



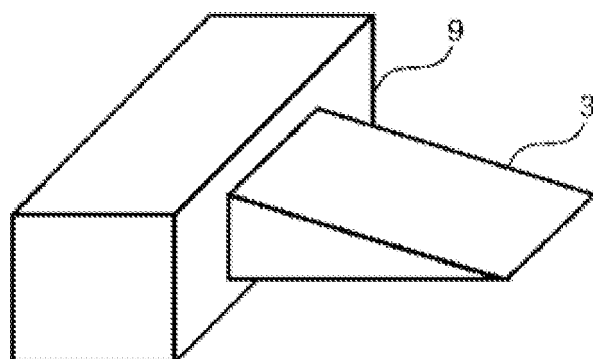
Obr. 1



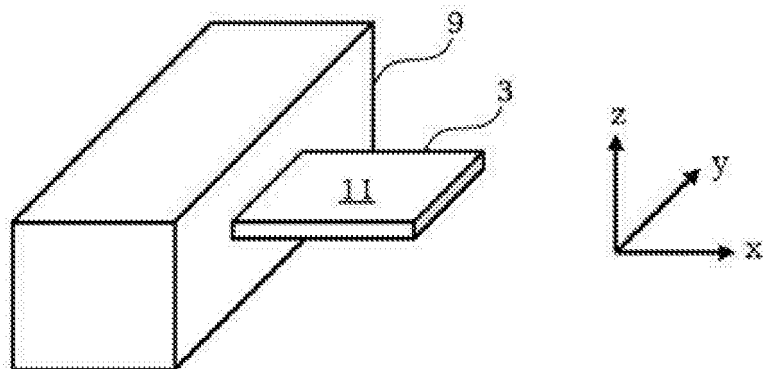
Obr. 2



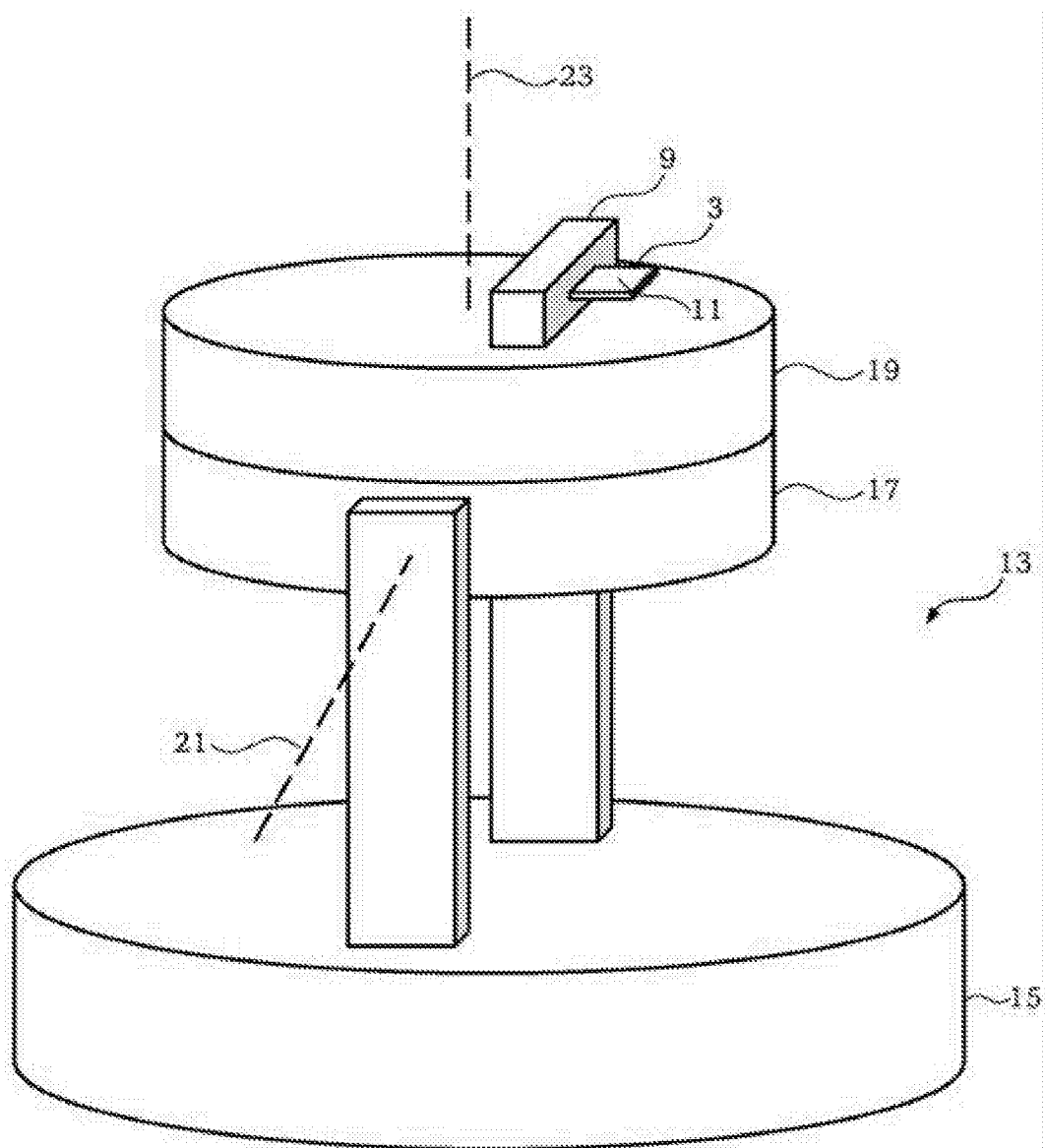
Obr. 3



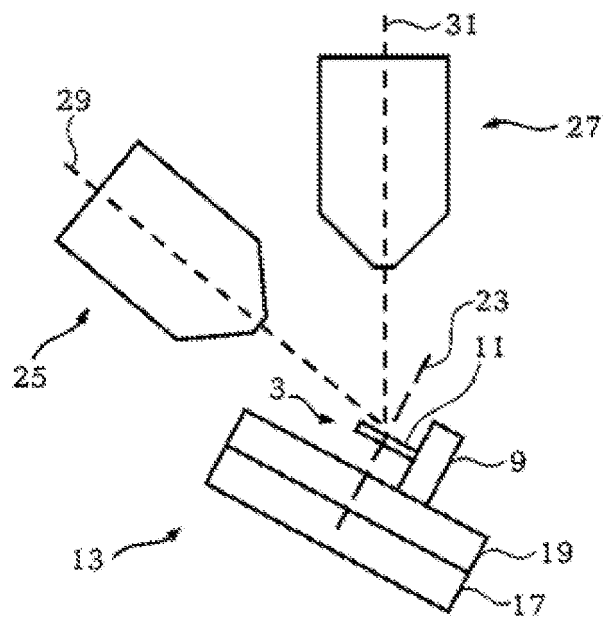
Obr. 4



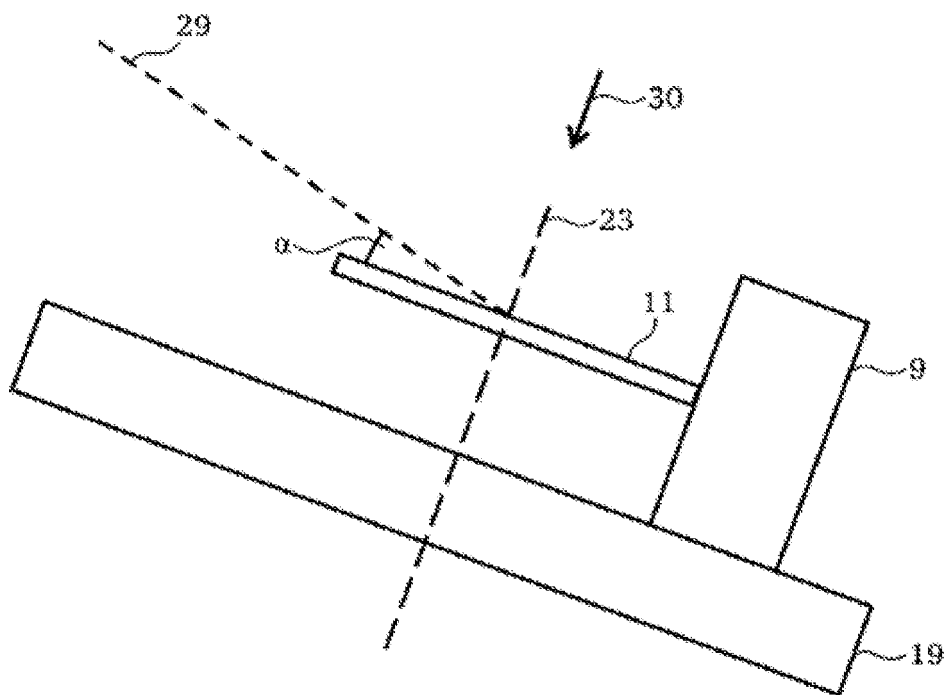
Obr. 5



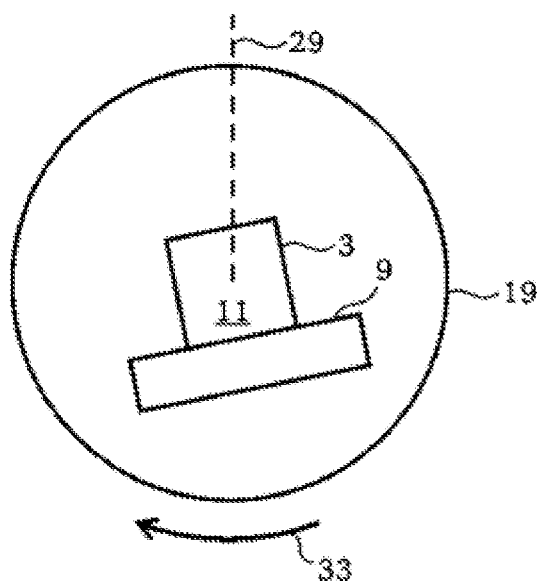
Obr. 6



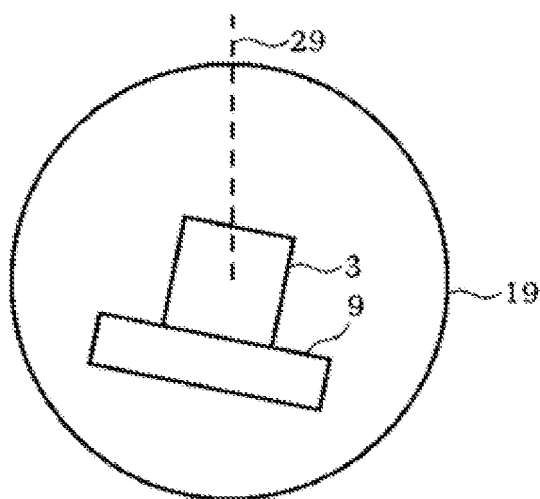
Obr. 7



Obr. 8



Obr. 9



Obr. 10