

**H01J 37/20** (2006.01)**H01J 37/26** (2006.01)**H01J 37/305** (2006.01)(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKAÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

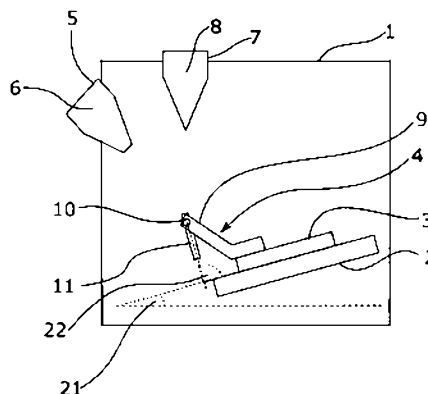
(21) Číslo přihlášky: **2018-539**  
(22) Přihlášeno: **10.10.2018**  
(40) Zveřejněno: **03.06.2020**  
**(Věstník č. 23/2020)**  
(47) Uděleno: **11.05.2023**  
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **21.06.2023**  
**(Věstník č. 25/2023)**

(56) Relevantní dokumenty:  
US 2011226947 A; US 2016247662 A; US 2008173813 A; EP 3226279 B; EP 3220407 B; EP 2824448 B.

(73) Majitel patentu:  
Tescan Brno, s.r.o., Brno, Kohoutovice, CZ  
(72) Původce:  
Ing. Pavel Doležel, Ph.D., Brno, Husovice, CZ  
Mgr. Tomáš Hrnčíř, Ph.D., Řícmanice, CZ  
(74) Zástupce:  
PatentEnter s.r.o., Koliště 1965/13a, 602 00 Brno,  
Černá Pole

(54) Název vynálezu:  
**Zařízení s alespoň jedním polohovatelným  
držákem vzorků a způsob změny úhlu  
náklonu držáku a způsob přípravy lamely**

(57) Anotace:  
Vynález zahrnuje zařízení obsahující elektronový a/nebo iontový tubus vybavené polohovatelným držákem, dále způsob změny náklonu polohovatelného držáku a způsob přípravy lamel pomocí tohoto držáku. Manipulační stolek je proveden pro změnu polohy roviny pohyblivého prvku (11) vůči rovině úložné plochy (3). Polohovatelný držák (4) zahrnuje pohyblivý prvek (11) s místem (15) pro umístění vzorku, otočnou hřídel (10), alespoň jeden pilíř (9) uspořádaný pro podpírání hřídele (10) a dále mechanismus pro fixaci pohyblivého prvku (11), který zahrnuje čep (13) a růžici (12). Způsob změny úhlu náklonu držáku umístěného na manipulačním stolku (2) zahrnuje kroky: umístění polohovatelného držáku (4) s prvním úhlem (22) náklonu držáku a fixačním mechanismem v nepohyblivé poloze, uvolnění fixačního mechanismu pohyblivého prvku (11), otočení manipulačního stolku (2) kolem podélné osy hřídele (10) tak, že rovina pohyblivého prvku (11) a rovina manipulačního stolu (2) svírají druhý úhel (22) náklonu držáku, uvedení fixačního mechanismu pohyblivého prvku (11) do nepohyblivé polohy.



## Zařízení s alespoň jedním polohovatelným držákem vzorků a způsob změny úhlu náklonu držáku a způsob přípravy lamely

### 5 Oblast techniky

Vynález se týká držáku vzorků pro zařízení využívající elektronový anebo iontový svazek a využití tohoto držáku při přípravě lamel, zejména pro transmisní elektronovou mikroskopii.

10

### Dosavadní stav techniky

Moderní techniky pro přípravu vzorků, které lze pozorovat pomocí elektronové mikroskopie (EM), zejména transmisní elektronové mikroskopie (TEM) a skenovací transmisní elektronové mikroskopie (STEM), vyžadují velmi přesné opracování vzorku. Velmi využívané jsou zařízení a způsoby využívající zařízení umožňující vyjmout část vzorku z mateřského substrátu a tento vzorek upravit do podoby vhodné k pozorování, tak zvaně *in situ*, tedy pomocí stejného zařízení a bez otevření pracovní komory. Vzorek vhodný pro pozorování má zpravidla tvar lamely, která je dostatečně tenká (<100nm) na to, aby ji bylo možné prosvítit svazkem.

20

Zařízení vhodné pro tento typ přípravy lamely musí být uzpůsobeno k pozorování vzorku a k opracování vzorku. K pozorování vzorku je možné využít například částicovou mikroskopii, například skenovací elektronový mikroskop (SEM). K opracování vzorku se používá zejména částicový svazek, například fokusovaný iontový svazek (FIB) nebo široký iontový svazek (BIB).

25

Pracovní postup přípravy vzorku zpravidla zahrnuje krok, kdy je mateřský substrát umístěn na manipulační stolek, krok, kdy je z mateřského substrátu vypreparován vzorek, krok, kdy je tento vzorek opracován do podoby lamely, krok, kdy je lamela umístěna do držáku lamel, krok, kdy je lamela ztenčena na požadovanou finální tloušťku a krok, kdy je lamela pozorována transmisní technikou. Takový pracovní postup, v závislosti na požadovaném výsledku, vyžaduje náročnou manipulaci se vzorkem během jednotlivých kroků a mezi jednotlivými kroky.

30

Manipulace se vzorkem může probíhat například pomocí rozsahu pohybů manipulačního stolku, pomocí mikromanipulátoru přítomného v komoře nebo pomocí rozsahu pohybů držáku lamel. Velmi často se pak jedná o kombinace jednotlivých způsobů.

35

Existující držáky TEM lamel poskytují pouze omezený rozsah pohybů nebo mají složitou konstrukci vyžadující i několik navzájem závislých nebo nezávislých manipulačních zařízení.

40

Zařízení mající omezený rozsah pohybu je popsáno například v patentu US 8247785 B2, který popisuje držák vzorku, mají plochu pro umístění mateřského substrátu a držák lamel umístěných tak, že jejich vzájemná poloha se během manipulace s držákem vzorku nemění.

45

Další řešení představuje polohovatelný držák TEM lamel popsáný v patentové přihlášce US 20110017922 A1. Tato přihláška popisuje držák, u kterého je možné měnit polohu držáku lamel nad rámec rozsahu pohybů manipulačního stolku. Ke změně polohy držáku lamel může docházet buď manuálně pomocí hrotu mikromanipulátoru, nebo automaticky pomocí samostatného motoru. Dokument uvádí, že je možné vzorek naklonit o  $\pm 90^\circ$  od nulové polohy. Dále je držák lamel vybaven fixačními šrouby, které vyvíjejí tlak na hřídel, čímž pomáhají udržovat požadovaný náklon. Na druhou stranu však nelze sílu přtlaku těchto šroubů měnit bez vnějšího zásahu při uzavřené pracovní komoře. Přtlak šroubů je tedy nutné nastavit předem a je nutné volit kompromis mezi stabilní fixací polohy držáku lamel a odporem hřídele kladeným při změně polohy držáku. Přičemž příliš velký odpor může vést k poškození mikromanipulátoru nebo motoru, a naopak příliš malý odpor může zapříčinit nežádoucí vibrace, případně nechtěný pohyb držáku.

55

Další řešení je popsáno v patentu US 6963068 B2. Toto zařízení má plochu pro uložení mateřského substrátu a držák lamel. Držák lamel se vyznačuje tím, že má oproti manipulačnímu stolku více stupňů volnosti, aniž by zahrnoval dodatečný manipulační motor. Dodatečného stupně volnosti je dosaženo propojením ovládacího mechanismu manipulačního stolku s polohovacím mechanismem držáku lamel. Změna polohy držáku lamel a mateřského substrátu jsou na sobě tedy závislé. Nevýhodou tohoto systému je, že v případě, kdy je nutné změnit polohu držáku lamel v rámci dodatečného stupně volnosti, je nutné změnit polohu mateřského substrátu vůči iontovému svazku. Navíc držák lamel neumožňuje plný rozsah pohybu manipulačního stolku (chybí nastavení výšky Z-posuv a rotace kolem Z).

Patent US 8754384 B1 popisuje stolek pro přípravu vzorku mající prostor pro uložení substrátu a držák TEM lamel. Tento stolek umožňuje vzájemně nezávislé polohování jednotlivých držáků. Každému z držáků přináleží nejméně jeden vlastní pohon. Zařízení tedy vyžaduje pro polohování složitý ovládací mechanismus s více motory. Větší počet pohonů zvyšuje obecně poruchovost systému, náročnost servisních zásahů, údržbu zařízení, pracnost výroby a v souvislosti s tím i cenu zařízení.

Patent US 7474419 B2 a patent JP 3805547 popisují a zobrazují další příklady zařízení mající plochu pro uložení mateřského substrátu a držák lamel, přičemž držák lamel je možné pomocí nezávislého pohonu polohovat alespoň v jednom dalším směru. Obdobně jako v předchozím případě, větší počet pohonů znamená obecně vyšší poruchovost systému, náročnost servisních zásahů, údržbu zařízení, pracnost výroby a v souvislosti s tím i vyšší cenu zařízení.

Patent US 9653260 B2 popisuje držák lamel umožňující změnit polohu držáku lamel oproti ploše pro uložení vzorku, avšak v dokumentu není nikde popsáno, jakým způsobem je tato změna provedena.

#### Podstata vynálezu

Předkládaný vynález představuje zařízení zahrnující elektronový tubus a iontový tubus, vybavené polohovatelným držákem. Tento držák si zachovává celý rozsah pohybu manipulačního stolku a je dále uzpůsoben ke změně své polohy vůči stolku alespoň v jednom směru, přičemž k této změně polohy stačí pouze rozsah pohybů manipulačního stolku a není nutné instalovat žádný další ovládací pohon nebo aktuátor.

Vynálezem je zařízení s alespoň jedním polohovatelným držákem vzorků zahrnující polohovatelný držák vzorků umístěný uvnitř pracovní komory na manipulačním stolku, přičemž polohovatelný držák zahrnuje pohyblivý prvek s místem pro umístění vzorku, otočnou hřídel, alespoň jeden pilíř uzpůsobený k podpírání hřídele a dále zařízení zahrnuje mechanismus k fixaci pohyblivého prvku zahrnující korunku připevněnou na hřídel, protikus uzpůsobený ke znehybnění hřídele vůči protikusu a tento mechanismus k fixaci je uzpůsoben k nastavení pohyblivého prvku do nepohyblivé polohy, ve které je zachován pohybový rozsah manipulačního stolku a pohyblivé polohy, ve které má polohovatelný držák alespoň jeden stupeň volnosti vyznačující se tím, že v pohyblivé poloze pohyblivého prvku je manipulační stolek uzpůsoben k pohybu, umožňujícímu měnit polohu roviny pohyblivého prvku vůči rovině úložné plochy.

Zařízením může být elektronový mikroskop, který může být skenovací anebo transmisní nebo jiné zařízení vyžadující změnu polohy vzorku vůči úložné ploše manipulačního stolku v průběhu obrábění nebo pozorování bez nutnosti otevřít pracovní komoru a tato změna může být provedena automaticky na základě předem nastavených parametrů přípravy lamely.

Pro pozorování nebo obrábění vzorku může zařízení dále zahrnovat jeden nebo více tubusů zejména tubusů elektronového mikroskopu, iontových tubusů nebo jejich kombinaci a dále může

zahrnovat světelné tubusy, zejména tubus laserového mikroskopu, tubus pro Ramanovu spektrometrii nebo světelný mikroskop.

5 Pracovní komora podle vynálezu může být vakuová komora pracující při velmi nízkém tlaku, kterou nelze v průběhu obrábění nebo pozorování otevřít, aniž by došlo k poškození vzorku, přístroje nebo zastavení pracovního cyklu.

10 Manipulační stůl může být vybaven mechanismem pro posun podél tří na sebe navzájem kolmých os a rotaci kolem tří na sebe navzájem kolmých os. Rozsah pohybů manipulačního stolku může být i nižší, případně na sebe jednotlivé osy nemusí být zcela kolmé. Vždy záleží na konkrétním způsobu užití zařízení. Ve výhodném provedení má stůl alespoň jednu rotační osu shodnou s podélnou osou hřídele.

15 Manipulační stůl může zahrnovat plochu pro umístění jednoho nebo více polohovatelných držáků vzorků a dále plochu pro umístění jednoho nebo více nepolohovatelných držáků vzorků a jednoho nebo více držáků substrátů, přičemž polohovatelné a nepolohovatelné držáky mohou být na manipulačním stolku umístěny současně. Za nepolohovatelný držák je považovaný takový držák, jehož manipulační rozsah se shoduje s rozsahem manipulačního stolku.

20 Držák zahrnuje alespoň jeden pilíř uzpůsobený k podpírání hřídele a mechanismus k fixaci pohyblivého prvku polohovatelného držáku. S výhodou je možné také použít dva pilíře nacházející se po obou stranách pohyblivého prvku zajišťující vyšší stabilitu a nižší vibrace. Každý z pilířů podpírá hřídel, která může být tvořena více částmi, které však mají shodnou podélnou osu. Naopak v případě použití pouze jednoho pilíře, je možný přístup ke vzorku z více stran a větší variabilita obráběcích metod než v případě dvou pilířů.

30 Pohyblivý prvek může mít například tvar planžety upevněné na hřídeli, nebo může být pohyblivým prvkem samotná hřídel, přičemž se za rovinu pohyblivého prvku považuje taková rovina, která prochází místem pro uložení vzorku a osou hřídele nebo v její blízkosti a je s touto rovinou rovnoběžná.

35 Fixační mechanismus může zahrnovat čep na alespoň jednom z pilířů, růžici s otvory na pohyblivém prvku, přičemž otvory odpovídají svou velikostí čepu a jsou rozmístěny po obvodu růžice, a přitlačné zařízení, kterým může být například pružina. Počet a rozmístění otvorů pak určuje rozsah možných nastavení pohyblivého prvku. Pro odborníka by mohl být zřejmý i jiný mechanismus zajišťující stejnou funkci. Například, že růžice může být nahrazena otvory přímo v pilíři nebo na pohyblivém prvku. Zařízení může také zahrnovat větší množství čepů.

40 Fixační mechanismus pohyblivého prvku může být ovládán pomocí korunky umístěné na hřídeli a odpovídajícím protikusem umístěným uvnitř pracovní komory. Při kontaktu korunky s protikusem je nutné vyvinout tlak na přitlačné zařízení, dostatečný k překonání přitlačného mechanismu, a fixace mechanismu pohyblivého prvku se uvolní. V této poloze je hřídel znehybněna vůči protikusu. Uvolněný pohyblivý prvek může být následně polohován. Po nastavení správné polohy dojde k opětovnému uvedení pohyblivého prvku do nepohyblivé polohy rozpojením korunky s protikusem, kdy přitlačné zařízení zavede čep do příslušného otvoru.

50 Polohování pohyblivého prvku probíhá tak, že po uvedení fixačního mechanismu do uvolněné polohy není možné měnit polohu pohyblivého prvku vůči protikusu. Změny úhlu náklonu držáku, což je úhel mezi rovinou pohyblivého prvku a plochou manipulačního stolku, poté může být dosaženo tak, že manipulační stůl je otočen kolem osy hřídele nebo je dosaženo přibližně podobného pohybu pomocí jiných rotací a posuvů manipulačního stolku, zpravidla takových, které mají vektor pohybu uvnitř roviny kolmé na osu hřídele.

55 Po změně polohy pohyblivého prvku následuje rozpojení korunky a protikusů a nastavení fixačního mechanismu pohyblivého prvku do nepohyblivé polohy. Pohyblivý prvek je nyní v nepohyblivé

poloze vůči ploše manipulačního stolku. Změna polohy pohyblivého prvku může být opakována, v důsledku čehož lze pohyblivý prvek polohovat v rozsahu 360° kolem osy hřídele.

5 Protikus uvnitř vakuové komory může být umístěn na jakékoliv součásti komory nebo jejího vybavení, zejména na detektorech elektronů, na manipulátorech, zakládačích vzorků, dekontaminátoru, zařízení pro speciální analýzy, například AFM, kamerách, osvětlení komory, částicovém tubusu, zařízení k připouštění plynu nebo na dalších a protikus může být pohyblivý nebo stacionární.

10 Způsob změny úhlu náklonu držáku, který je umístěný na manipulačním stolku a vyznačuje se tím, že zahrnuje kroky:

umístění držáku s nastaveným prvním úhlem náklonu držáku a fixačním mechanismem v nepohyblivé poloze do pozice, kdy je korunka v blízkosti protikusu;

15 uvolnění fixačního mechanismu pohyblivého prvku přitlačením korunky anebo protikusu silou dostatečně velkou k překonání odporu přitlačného mechanismu.

20 otočení manipulačního stolku kolem podélné osy hřídele tak, že rovina pohyblivého prvku a rovina manipulačního stolu svírají druhý úhel náklonu držáku, jiný než první úhel náklonu držáku;

opětovné uvedení fixačního mechanismu pohyblivého prvku do nepohyblivé polohy oddálením korunky a protikusu.

25 Tento postup lze opakovat, dokud není dosaženo požadovaného úhlu mezi rovinou pohyblivého prvku a plochou manipulačního stolku.

V pozici, kdy je hřídel nepohyblivá vůči protikusu, je protikus ve styku s korunkou a protikus i korunka jsou umístěny podél podélné osy hřídele.

30 Fixační mechanismus pohyblivého prvku je ovládán pohybem korunky anebo protikusu ve směru nebo v protisměru podél osy hřídele.

Manipulační stůl lze otočit okolo osy hřídele v kladném i záporném směru.

35 Výhodou tohoto držáku je, že změnu úhlu náklonu stolku, což je úhel, který svírá rovina manipulačního stolku s rovinou kolmou na osu elektronového svazku, lze provádět současně s obráběním vzorku. Díky tomu je možné přípravu vzorku vyžadující změnu polohy držáku značně urychlit.

40 S výhodou lze využít polohovatelného držáku pro přípravu TEM lamel například metodou z přední strany (tzv. front side), ze zadní strany (tzv. metodou back side), nebo pro výrobu planární lamely, případně jinými metodami a následnou nebo průběžnou kontrolu kvality této lamely pomocí skenovací transmisní elektronové mikroskopie (STEM). V průběhu těchto metod je nutné měnit 45 úhel náklonu držáku, a v případě některých metod také úhel náklonu stolku.

Výhodou metody také je, že zejména v případě, kdy je nutné při přípravě lamely změnit orientaci vzorku, například při přípravě TEM lamely ze zadní strany, není nutné používat, jako v jiných obdobných metodách, rotační jehlu mikromanipulátoru pro změnu orientace vzorku. Změna orientace vzorku vůči iontovému svazku může být prováděna výhradně změnou úhlu náklonu 50 držáku polohovatelného držáku.

Způsob přípravy lamely pomocí polohovatelného držáku umístěného uvnitř pracovní komory na manipulačním stolku zařízení zahrnujícího svazek pro opracování vzorku, například fokusovaný

iontový svazek a svazek pro pozorování vzorku, například elektronový svazek, a zahrnuje následující kroky:

5 nastavení prvního úhlu náklonu stolku, úhlu náklonu stolku a nastavení prvního úhlu náklonu držáku;

příprava vzorku pro výrobu lamely ze substrátu umístěného v držáku vzorků pomocí iontového svazku; přemístění vzorku ze substrátu na polohovatelný držák vzorku;

10 opracování vzorku umístěného na polohovatelném držáku pomocí iontového svazku;

změna úhlu náklonu držáku na druhý úhel náklonu držáku;

kontrola kvality lamely pomocí elektronového svazku.

15

V jednom z možných způsobů provedení přípravy lamely je nejprve mateřský substrát umístěn na nepolohovatelný držák, který je umístěn na manipulačním stolku nastaveném na první úhel náklonu stolku. Ze substrátu je pomocí iontového svazku připraven a pomocí mikromanipulátoru vyjmut vzorek pro přípravu lamely, který je umístěn na polohovatelný držák, který je nastavený na první úhel náklonu držáku. Přenesení vzorku probíhá bez změny orientace vzorku. Vzorek nemění svoji polohu vůči pracovní komoře. K přenesení vzorku je tedy možné využít takový mikromanipulátor, který umožňuje pohyb alespoň podél jedné osy kolmé na povrch substrátu.

20

V dalším kroku je provedeno opracování vzorku iontovým svazkem a nastavení polohovatelného držáku na druhý úhel náklonu držáku, který je jiný než první úhel náklonu držáku.

25

Pro dosažení požadované polohy lamely vůči částicovým svazkům může, ale také nemusí být manipulační stůl nakloněn do druhého úhlu náklonu stolku.

30

V praxi se k opracování běžně používá taková orientace vzorku, při kterém je osa iontového svazku přibližně rovnoběžná s opracovávaným povrchem.

V dalším kroku je provedena kontrola kvality připravované lamely částicovým, zpravidla elektronovým svazkem. Pokud kvalita TEM lamely není dostatečná, tedy pokud nemá například požadovanou tloušťku nebo rovinnost, vrátí se polohovatelný držák a manipulační stůl do polohy, ve které byl vzorek obráběn a celý cyklus se opakuje do té doby, dokud není dosaženo požadovaných vlastností TEM lamely.

35

Velikost úhlu náklonu držáku i úhlu náklonu stolku může být 0 až 360 stupňů. Vzhledem k omezenému prostoru uvnitř pracovních komor je běžnější maximální velikost úhlu náklonu stolku 90 stupňů v kladném a úhlu 90 stupňů v záporném směru rotace.

40

Při pozorování pomocí transmisní skenovací techniky v SEM je nejlepších výsledků dosahováno, pokud je osa SEM svazku přibližně kolmá na povrch lamely.

45

Při obrábění pomocí částicového svazku je nejvýhodnější polohou taková, kdy je osa obráběcího částicového svazku rovnoběžná s opracovávanou plochou vzorku, případně korigována o kuželový úhel (tapering angle) svazku.

50

V dalším z možných způsobů provedení přípravy lamely. Mateřský substrát je umístěn na nepolohovatelném držáku vzorku, který je umístěn na manipulačním stolku nakloněný o první úhel náklonu stolku. Ze substrátu je pomocí částicového svazku připraven a pomocí mikromanipulátoru vyjmut vzorek pro přípravu lamely, který je umístěn na polohovatelný držák, který je nakloněný o první úhel náklonu držáku.

55

V dalším kroku je polohovatelný držák nastaven do druhého úhlu náklonu držáku jiného než první úhel náklonu držáku a je provedeno opracování vzorku iontovým svazkem.

5 V dalším kroku může být nastaven polohovatelný držák na třetí úhel náklonu držáku, který je jiný než druhý úhel náklonu držáku.

Manipulační stůl může být nakloněn do druhého úhlu náklonu stolku, jiného než první úhel náklonu stolku.

10 V dalším kroku je provedena kontrola kvality připravované lamely elektronovým svazkem. Pokud kvalita TEM lamely není dostatečná, tedy pokud nemá například požadovanou tloušťku nebo rovinnost, vrátí se poloha polohovatelného držáku a manipulační stůl do polohy, ve které byly při opracovávání vzorku, a celý cyklus se opakuje do té doby, dokud není dosaženo požadovaných vlastností TEM lamely.

15

### Objasnění výkresů

20 Podstata vynálezu je dále ukázána na příkladech jeho uskutečnění, které jsou popsány s využitím připojených výkresů, kde na:

Obr. 1 – je znázorněn boční pohled na polohovatelný držák;

25 Obr. 2a, 2b, 2c – je znázorněn čelní pohled na polohovatelný držák;

Obr. 3 – je znázorněn jeden z možných příkladů růžice;

Obr. 4 – je znázorněn jeden z příkladů možného uspořádání držáků na manipulačním stolku;

30 Obr. 5a, 5b, 5c – je znázorněn schematický postup změny polohy pohyblivého prvku;

Obr. 6 – je znázorněn postup přípravy lamely z přední strany;

Obr. 7 – je znázorněn další postup přípravy lamely z přední strany;

35

Obr. 8 – je znázorněn postup přípravy lamely ze zadní strany;

Obr. 9 – je znázorněn další postup přípravy lamely ze zadní strany;

40 Obr. 10 – je znázorněn postup přípravy planární lamely.

### Příklady uskutečnění vynálezu

45

Na obr. 1 je zobrazen schematický boční pohled na polohovatelný držák 4. Zařízení zahrnuje pracovní komoru 1, uvnitř které je manipulační stůl 2 vybavený úložnou plochu 3, a dále polohovatelný držák 4, iontový tubus 5 mající osu 6 iontového svazku, podél které je distribuován svazek iontů směrem na vzorek 20 (nezobrazen) a elektronový tubus 7 mající osu 8 elektronového svazku, podél které je distribuován svazek elektronů směrem na vzorek 20.

50

Manipulační stůl 2, který je vybaven posuvnými a otočnými mechanismy umožňujícími posuv podél tří navzájem kolmých os, z nichž alespoň jedna leží v rovině rovnoběžné s rovinou úložné plochy 3, a rotaci kolem tří navzájem kolmých os, z nichž alespoň jedna leží v rovině rovnoběžné s rovinou úložné plochy 3.

55

Osa iontového svazku 5 a osa elektronového svazku 7 se protínají přibližně v místě dopadu svazků na vzorek 20. Polohovatelný držák 4 zahrnuje podpůrný pilíř 9 k podpírání hřídele 10, na kterou je připraven pohyblivý prvek 11. Hřídel 10 je v pilíři 9 uchycena tak, že je možné s ní otáčet kolem její podélné osy. Pohyblivý prvek 11 je pevně připojen k hřídeli 10 a lze s ním otáčet pomocí hřídele 10. Rovina pohyblivého prvku 11 svírá s rovinou manipulačního stolku 2 úhel 22 náklonu držáku. Rovina manipulačního stolku 2 svírá s rovinou kolmou na osu 8 elektronového svazku úhel 21 náklonu stolku.

V případě úhlu 22 náklonu držáku je úhel o velikosti  $0^\circ$  definován jako takový, kdy místo 15 pro uložení vzorku 20 směřuje k manipulačnímu stolku 2 a rovina polohovatelného držáku 4 je rovnoběžná s rovinou manipulačního stolku. Úhel o velikosti  $180^\circ$  je definován jako takový, kdy místo 15 pro uložení směřuje od manipulačního stolku 2.

Na obr 2a, 2b a 2c. je schematicky zobrazen polohovatelný držák 4 z čelního pohledu. Kromě součástí polohovatelného držáku 4 již vyobrazených na obr. 1 polohovatelný držák 4 zahrnuje fixační mechanismus zahrnující růžici 12 upevněnou na hřídel 10, čep 13 umístěný na pilíři 9 a pružinu 14 a dále pohyblivý prvek 11 s místem 15 pro umístění vzorku 20 a korunku 16 pro ovládání fixačního mechanismu. Dále zařízení zahrnuje protikus 17 umístěný na vnitřním vybavení 18 pracovní komory 1. Ve výhodném provedení je vzorek 20 umístěný v ose hřídele 10.

Obr. 2a ukazuje polohovatelný držák 4 v uvolněné poloze. V této poloze je korunka 16 přitlačena na protikus 17, přičemž překonává odpor pružiny 14 a čep 13 je vysunut z růžice 12. V důsledku toho již hřídel 10 není aretována k pilíři 9. Hřídel 10 s pohyblivým prvkem 11 je v této pozici pevně spojena s protikusem 17 a současně může měnit polohu vůči manipulačnímu stolku 2. Protikus 17 je připraven na vnitřním vybavení komory 18, například na detektoru signálních elektronů. Může být však umístěn na jakémkoliv vybavení, které je alespoň v jedné z možných poloh dosažitelné korunkou 16 polohovatelného držáku 4.

Obr. 2b zobrazuje držák 4 v nepohyblivé poloze. Pružina 14 tlačí růžici 12 směrem k podpůrnému pilíři 9, na kterém je umístěn čep 13. Čep 13 zapadá do otvorů 19 v růžici 12 a tím aretuje hřídel 10 vůči pilíři 9 a pohyblivý prvek 11 nemůže změnit polohu vůči manipulačnímu stolku 2.

Obr 2c. zobrazuje další variantu polohovatelného držáku 4 s jedním pilířem 9 v uvolněné poloze. Rozdíl oproti obr. 2a je v tom, že polohovatelný držák 4 má pouze jeden pilíř 9 a tím je umožněn snadnější přístup k pohyblivému prvku 11 také z boku. Růžice 12 je v tomto případě upevněna na pilíři 9 a odpovídající čep 13 se nachází na pohyblivém prvku 11. Pružina 14 je při uvedení do pohyblivé polohy natahována na rozdíl od polohovatelného držáku na obr. 2a, kde je naopak stlačována. Po uvolnění korunky 16 dojde k přitažení růžice 12 k pilíři 9, zasunutí čepu 13 do růžice 12 a tím k aretaci pohyblivého prvku 11.

Na obr. 3 je zobrazen boční pohled na jeden z možných tvarů růžice 12. Růžice 12 obsahuje po svém obvodu kulaté otvory 19 pro čepy 13 odpovídající tvaru čepu 13. Otvory 19 jsou po obvodu rozmístěny v úhlových rozestupech o velikosti  $\gamma$ , která se rovná  $45$  stupňů. Středem růžice 12 prochází hřídel 10. Otvory 19 na růžici 12 stejně tak jako čep 13 mohou nabývat různých rozměrů a tvarů, měly by však vždy zabezpečit, aby po aretaci nemohlo dojít k pohybům růžice 12 vůči čepu 13. Ve výhodném provedení by si otvory v růžici 12 a tvar čepu 13 měly tvarově i velikostně odpovídat.

Na obr. 4 je zobrazen manipulační stolek 2, na kterém jsou umístěny dva vzorky 20 na polohovatelných držácích 4 a substrát 23 na nepolohovatelném držáku 24.

Na obr. 5a, 5b a 5c je schematický postup změny polohy pohyblivého prvku 11 polohovatelného držáku 4.

55



Na obr. 5a je polohovatelný držák 4 vůči ose 6 iontového svazku a ose 8 elektronového svazku v první poloze. Osa 6 iontového svazku svírá s osou 8 elektronového svazku úhel přibližně 55 stupňů a osa 8 elektronového svazku svírá s úložnou plochou 3 úhel menší než 10 stupňů a s osou 6 iontového svazku úhel v rozmezí 55° až 65°. FIB svazek dopadá na rovinu pohyblivého prvku přibližně pod úhlem 90 stupňů a vzorek 20 je ozařován z první strany.

Pohyblivý prvek 11 je uveden do pohyblivé polohy, ve které není možné měnit polohu pohyblivého prvku 11 vůči ose 6 iontového a ose 8 elektronového svazku a lze měnit polohu pohyblivého prvku 11 vůči manipulačnímu stolku 2.

Na obr. 5b je polohovatelný držák 4 ve druhé poloze, která se oproti první poloze liší tím, že pozice pohyblivého prvku 11 se oproti stavu na obr. 5a otočila o více než 140 stupňů kolem osy hřídele 10. Poloha pohyblivého prvku 11 vůči ose 8 elektronového svazku zůstává neměnná.

Pohyblivý prvek 11 je uveden do nepohyblivé polohy, kdy není možné měnit polohu pohyblivého prvku 11 vůči manipulačnímu stolku 2, ale je možné měnit polohu pohyblivého prvku 11 vůči ose 6 iontového svazku a ose 8 elektronového svazku.

Na obr. 5c je polohovatelný držák 4 ve třetí poloze, kdy je polohovatelný držák 4 umístěn přibližně do stejné polohy jako na obr. 5a, kde je úhel mezi osou 8 elektronového svazku a úložnou plochou 3 menší než 10 stupňů. FIB svazek dopadá na rovinu pohyblivého prvku 11 přibližně pod úhlem 90 stupňů a vzorek 20 je ozařován z druhé strany. Rozdíl mezi polohou na obr. 5a a obr. 5c spočívá především v tom, že pohyblivý prvek 11 je otočen oproti stavu na obr. 5a o více než 140°.

Pokud polohovací zařízení manipulačního stolku 2 neumožňuje náklon dostatečný k tomu, aby bylo možné provést celou operaci v jednom kroku, je možné jednotlivé kroky změny polohy opakovat do doby, než je požadované polohy dosaženo.

Pokud vzorek 20 není umístěn v ose hřídele 10, jsou zpravidla nutné další drobné korekce pomocí posuvů nebo rotací manipulačního stolku 2.

Na obr. 6 je zobrazen první způsob přípravy TEM lamely z přední strany. V prvním kroku je substrát 23 umístěn na úložnou plochu 3 rovnoběžnou s rovinou manipulačního stolku 2. Z tohoto substrátu 23 je pomocí FIB připraven vzorek 20, pro výrobu TEM lamely. Tento vzorek 20 je vytažen ze substrátu 23 při náklonu pod úhlem 21 náklonu stolku 55° pomocí manipulačního zařízení, například mikromanipulátoru. Polohovatelný držák 4 je nakloněný o úhel 22 náklonu držáku 90°. Vzorek 20 je připevněn na polohovatelný držák 4. V dalším kroku je pomocí FIB svazku vzorek 20 doleštěn a upraven do podoby TEM lamely. Osa 6 iontového svazku přitom dopadá na vzorek 20 přibližně rovnoběžně s obráběnou plochou lamely. Po obrobení je úhel 22 náklonu držáku nastaven na 180° a úhel 21 náklonu stolku je nastaven na 0° a je zkontrolována kvalita připravované lamely. Kontrola může probíhat pomocí STEM a je při ní kontrolována tloušťka lamely a její rovinnost. Pokud lamela splňuje požadované parametry, je metoda ukončena. Pokud požadované parametry nejsou dosaženy, je změněn úhel 22 náklonu držáku na 90° a úhel 21 náklonu stolku na 55° a doleštění je provedeno opakovaně.

Na obr. 7 je zobrazen další způsob přípravy lamely z přední strany. Na rozdíl od obr. 6 je vzorek 20 pro výrobu lamely vyjmut při úhlu 21 náklonu stolku 0° a je přemístěn na polohovatelný držák 4 s úhlem 22 náklonu držáku 90°. Poté je úhel 22 náklonu stolku změněn na 55°, při kterém je vzorek 20 doleštěn pomocí FIB. Následně je úhel 22 náklonu držáku změněn na 125°. Následná kontrola kvality může probíhat pomocí STEM a je při ní kontrolována tloušťka lamely a její rovinnost. Pokud lamela splňuje požadované parametry, je metoda ukončena. Pokud požadované parametry nejsou dosaženy, je změněn úhel 22 náklonu držáku na 90° a úhel 21 náklonu stolku na 55° a doleštění je provedeno opakovaně.

Na obr. 8 je zobrazen způsob přípravy lamely ze zadní strany. V prvním kroku je substrát 23 umístěn na úložnou plochu 3 rovnoběžnou s rovinou manipulačního stolku 2. Z tohoto substrátu 23 je pomocí FIB připraven vzorek 20 pro výrobu TEM lamely. Vzorek 20 je vytažen ze substrátu 23 při náklonu pod úhlem 21 náklonu stolku  $55^\circ$  pomocí manipulačního zařízení, například mikromanipulátoru. Polohovatelný držák 4 je nakloněný o úhel 22 náklonu držáku  $70^\circ$ . Po umístění vzorku na polohovatelný držák 4, je úhel 22 náklonu držáku změněn na  $250^\circ$ . Doleštění lamely poté probíhá při úhlu 21 náklonu stolku  $55^\circ$ . Po doleštění je úhel 21 náklonu stolku nastavený na  $0^\circ$  a úhel 22 náklonu držáku na  $160^\circ$  a je provedena kontrola kvality lamely. Kontrola může probíhat pomocí STEM a je při ní kontrolována tloušťka lamely a její rovinnost. Pokud lamela splňuje požadované parametry, je metoda ukončena. Pokud požadované parametry nejsou dosaženy, je změněn úhel 22 náklonu držáku na  $250^\circ$  a úhel 21 náklonu stolku na  $55^\circ$  a doleštění je provedeno opakovaně.

Na obr. 9 je zobrazen další způsob provedení přípravy lamely ze zadní strany. Rozdíl oproti metodě popsané na obr. 8 je ten, že vyzvednutí vzorku 20 pro výrobu lamely probíhá při úhlu 21 náklonu stolku  $0^\circ$  a kontrola kvality lamely při úhlu 22 náklonu držáku  $105^\circ$  a úhlu 21 náklonu stolku  $55^\circ$ .

Na obr. 10 je zobrazen způsob přípravy planární lamely. V prvním kroku je substrát 23 umístěn na úložnou plochu 3 rovnoběžnou s rovinou manipulačního stolku 2. Z tohoto substrátu 23 je pomocí FIB připraven vzorek 20 pro výrobu TEM lamely. Vzorek 20 je vytažen ze substrátu 23 při náklonu pod úhlem 21 náklonu stolku  $0^\circ$  pomocí manipulačního zařízení, například mikromanipulátoru. Polohovatelný držák 4 je nakloněný o úhel 22 náklonu držáku  $180^\circ$ . Po umístění vzorku 20 na polohovatelný držák 4, je úhel 22 náklonu držáku změněn na  $90^\circ$ . Doleštění lamely poté probíhá při úhlu 21 náklonu stolku  $55^\circ$ . Po doleštění je nastavený úhel 22 náklonu držáku na  $135^\circ$  a je provedena kontrola kvality lamely. Pokud lamela splňuje požadované parametry, je metoda ukončena. Pokud požadované parametry nejsou dosaženy, je změněn úhel 22 náklonu držáku na  $90^\circ$  a úhel 21 náklonu stolku na  $55^\circ$  a doleštění je provedeno opakovaně.

Výše jsou uvedeny pouze vybrané příklady toho, jakým způsobem lze využít polohovatelný držák při přípravě vzorků. Odborníkovi v oboru by byly zřejmé i jiné způsoby, jakými by s využitím polohovatelného držáku bylo možné vzorek připravit anebo pozorovat.

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Zařízení s alespoň jedním polohovatelným držákem vzorků zahrnující polohovatelný držák (4) vzorků umístěný uvnitř pracovní komory (1) na úložné ploše (3) manipulačního stolku (2), přičemž polohovatelný držák (4) zahrnuje pohyblivý prvek (11) s místem (15) pro umístění vzorku, otočnou hřídel (10), alespoň jeden pilíř (9) uzpůsobený k podpírání hřídele (10) a dále zařízení zahrnuje mechanismus k fixaci pohyblivého prvku (11) zahrnující korunku (16) připevněnou na hřídel (10) a protikus (17) uzpůsobený ke znehybnění hřídele (10) vůči protikusu a tento mechanismus k fixaci je uzpůsoben k nastavení pohyblivého prvku (11) do nepohyblivé polohy, ve které je zachován pohybový rozsah manipulačního stolku (2) a pohyblivé polohy, ve které má polohovatelný držák (4) alespoň jeden stupeň volnosti, **vyznačující se tím**, že v pohyblivé poloze pohyblivého prvku (11) je manipulační stolec (2) uzpůsoben k pohybu umožňujícímu měnit polohu roviny pohyblivého prvku (11) vůči rovině úložné plochy (3).
2. Zařízení s polohovatelným držákem vzorků podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že mechanismus k fixaci pohyblivého prvku (11) zahrnuje čep (13) na alespoň jednom z pilířů (9), růžici (12) s otvory pro čep na pohyblivém prvku (11), přičemž otvory odpovídají svou velikostí čepu (13) a jsou rozmístěné po obvodu růžice (12), a přítlačné zařízení uzpůsobené k zavedení čepu (13) do otvoru pro čep uvnitř uzavřené pracovní komory (1).
3. Zařízení s polohovatelným držákem vzorků podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že vektor pohybu umožňujícího měnit polohu roviny pohyblivého prvku (11) vůči rovině úložné plochy (3) v pohyblivé poloze pohyblivého prvku (11) leží v rovině kolmé na osu rovnoběžnou s osou hřídele (10).
4. Zařízení s polohovatelným držákem vzorků podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že pohyb umožňující měnit polohu roviny pohyblivého prvku (11) vůči rovině úložné plochy (3) v pohyblivé poloze pohyblivého prvku (11) zahrnuje rotaci, přičemž osa rotace odpovídá ose hřídele (10).
5. Zařízení s polohovatelným držákem vzorků podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že při změně polohy pohyblivého prvku (11) vůči úložné ploše (3) je pohyblivý prvek (11) ve stacionární poloze vůči pracovní komoře (1).
6. Zařízení s polohovatelným držákem vzorků podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že má dva pilíře (9).
7. Zařízení s polohovatelným držákem vzorků podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že vzorek (20) na polohovatelném držáku (4) je umístěn v ose hřídele (10).
8. Zařízení s polohovatelným držákem vzorků podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že na manipulační stolec (2) lze umístit i alespoň jeden nepolohovatelný držák (24), který nemá dalšího stupně volnosti.
9. Zařízení s polohovatelným držákem vzorků podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že zahrnuje elektronový tubus (7) a iontový tubus (5).
10. Způsob změny úhlu náklonu držáku (4) umístěného na manipulačním stolku (2), **vyznačující se tím**, že zahrnuje kroky:
- umístění polohovatelného držáku (4) s nastaveným prvním úhlem (22) náklonu držáku a fixačním mechanismem v nepohyblivé poloze do pozice, kdy je korunka (16) v blízkosti protikusu (17);

- uvolnění fixačního mechanismu pohyblivého prvku (11) přitlačením korunky (16) anebo protikusu (17) silou dostatečně velkou k překonání odporu přitlačného mechanismu;

- otočení manipulačního stolku (2) kolem podélné osy hřídele (10) tak, že rovina pohyblivého prvku (11) a rovina manipulačního stolu (2) svírají druhý úhel (22) náklonu držáku, jiný než první úhel (22) náklonu držáku tak, že při změně náklonu pohyblivého prvku (11) vůči úložné ploše (3) je pohyblivý prvek (11) ve stacionární poloze vůči ose (6) iontového svazku a ose (8) elektronového svazku;

- opětovné uvedení fixačního mechanismu pohyblivého prvku (11) do nepohyblivé polohy oddálením korunky (16) a protikusu (17).

11. Způsob podle nároku 10, **vyznačující se tím**, že krok otočení manipulačního stolku (2) kolem podélné osy hřídele (10) tak, že pohyblivý prvek (11) a plocha manipulačního stolu (2) svírají druhý úhel (22) náklonu držáku, jiný než první úhel (22) náklonu držáku, lze při provádění způsobu vícekrát opakovat.

12. Způsob přípravy lamely pro transmisní elektronovou mikroskopii pomocí polohovatelného držáku (4) vzorků, **vyznačující se tím**, že zahrnuje kroky:

- nastavení prvního úhlu (21) náklonu stolku;

- nastavení prvního úhlu (22) náklonu držáku;

- přípravy vzorku (20) pro výrobu lamely ze substrátu (23) umístěného na nepolohovatelném držáku (24) vzorků pomocí iontového svazku;

- přemístění vzorku (20) ze substrátu (23) na polohovatelný držák (4) vzorku;

- opracování vzorku (20) umístěného na polohovatelném držáku (4) pomocí iontového svazku;

- změny úhlu (22) náklonu držáku na druhý úhel (22) náklonu držáku tak, že při změně náklonu pohyblivého prvku (11) vůči úložné ploše (3) je pohyblivý prvek (11) ve stacionární poloze vůči ose (6) iontového svazku a ose (8) elektronového svazku;

- kontroly kvality lamely pomocí elektronového svazku.

13. Způsob přípravy lamely podle nároku 12, **vyznačující se tím**, že zahrnuje alespoň jednu změnu úhlu (21) náklonu stolku na druhý úhel (21) náklonu stolku jiný, než první úhel (21) náklonu stolku.

14. Způsob přípravy lamely podle nároku 12 nebo 13, **vyznačující se tím**, že zahrnuje alespoň jednu další změnu úhlu (22) náklonu držáku na třetí úhel (22) náklonu držáku jiný než druhý úhel (22) náklonu držáku.

15. Způsob přípravy lamely podle kteréhokoliv z nároků 12 až 14, **vyznačující se tím**, že změna úhlu (21) náklonu stolku probíhá v průběhu opracování vzorku (20) pomocí fokusovaného iontového svazku.

16. Způsob přípravy lamely podle kteréhokoliv z nároků 12 až 15, **vyznačující se tím**, že kontrola kvality lamely je prováděna pomocí transmisní skenovací elektronové mikroskopie.

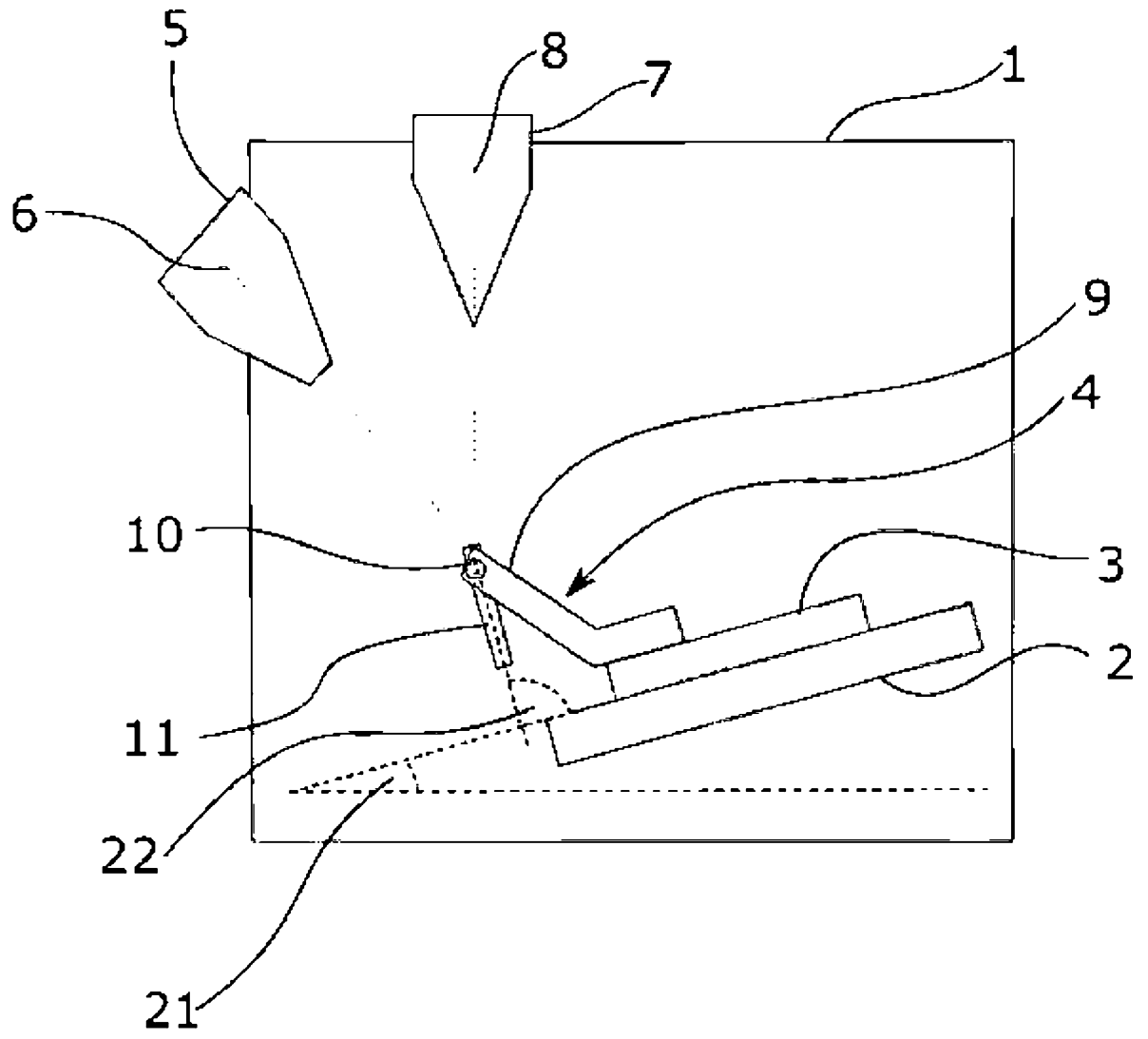
17. Způsob přípravy lamely podle kteréhokoliv z nároků 12 až 16, **vyznačující se tím**, že při přemístění vzorku (20) z prvního nepolohovatelného držáku (24) na druhý polohovatelný držák (4) nedochází ke změně orientace vzorku (20).

5

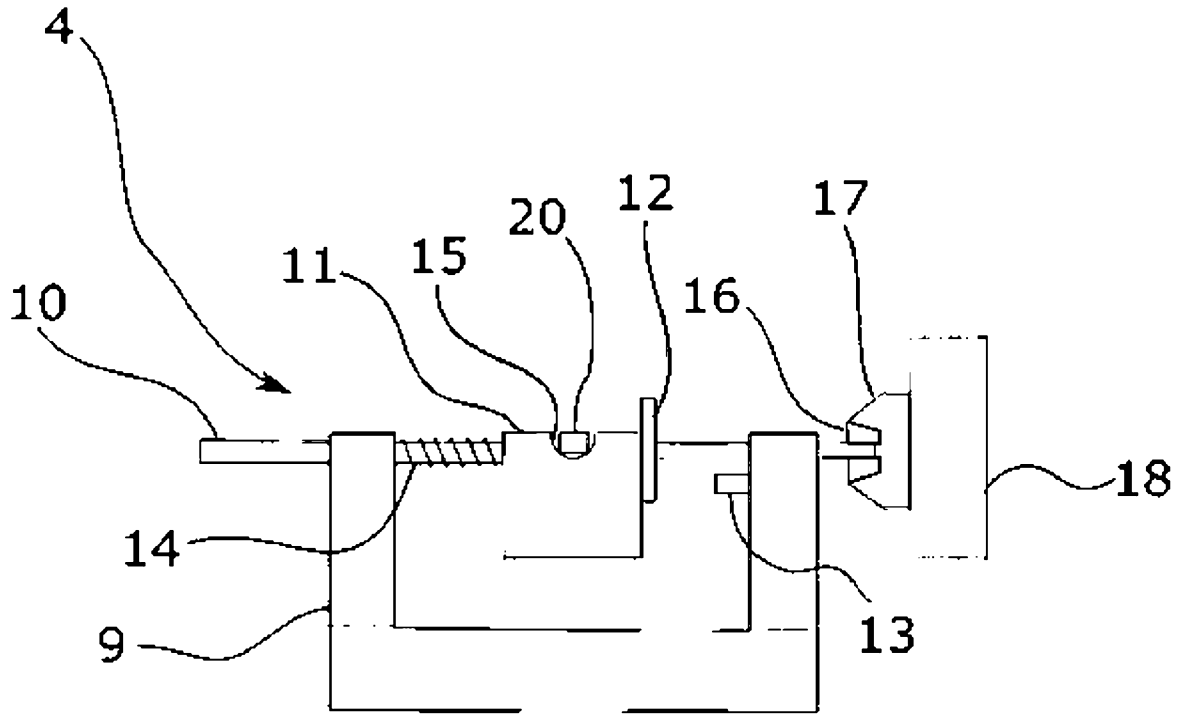
14 výkresů

Seznam vztahových značek:

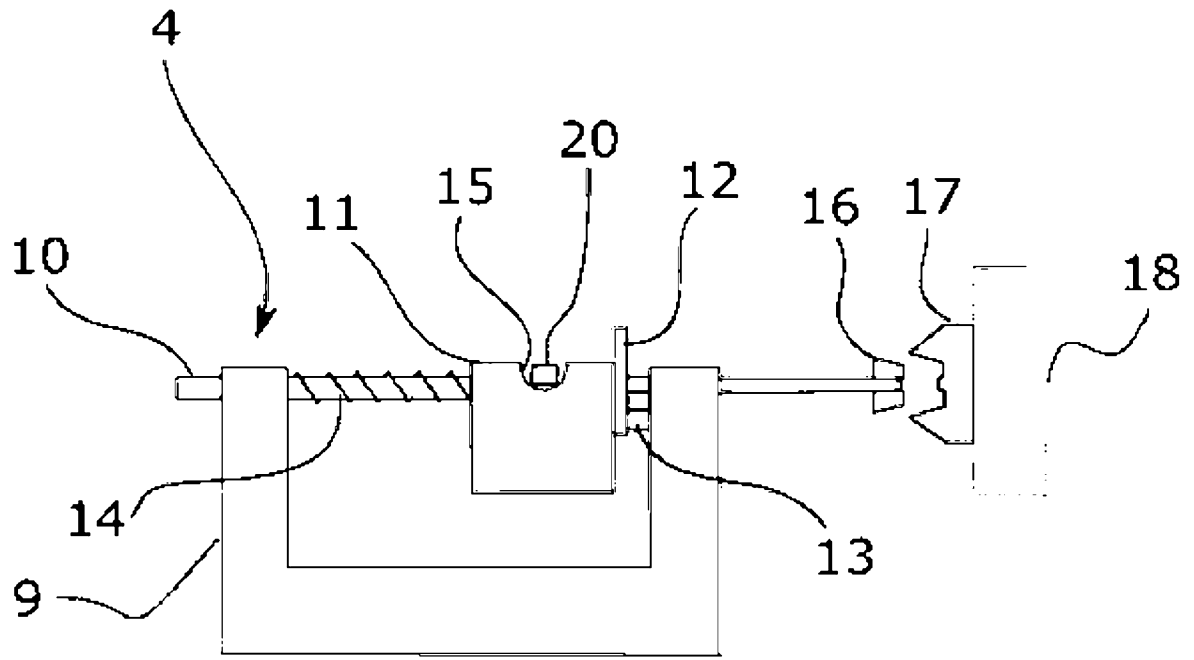
- 1 – Pracovní komora
- 2 – Manipulační stolek
- 3 – Úložná plocha
- 4 – Polohovatelný držák
- 5 – Iontový tubus
- 6 – Osa iontového svazku
- 7 – Elektronový tubus
- 8 – Osa elektronového svazku
- 9 – Pilíř
- 10 – Hřídél
- 11 – Pohyblivý prvek
- 12 – Růžice
- 13 – Čep
- 14 – Pružina
- 15 – Místo pro umístění vzorku
- 16 – Korunka
- 17 – Protikus
- 18 – Vnitřní vybavení komory
- 19 – Otvor pro čep
- 20 – Vzorek
- 21 – Úhel náklonu stolku
- 22 – Úhel náklonu držáku
- 23 – Substrát
- 24 – Nepolohovatelný držák



Obr. 1

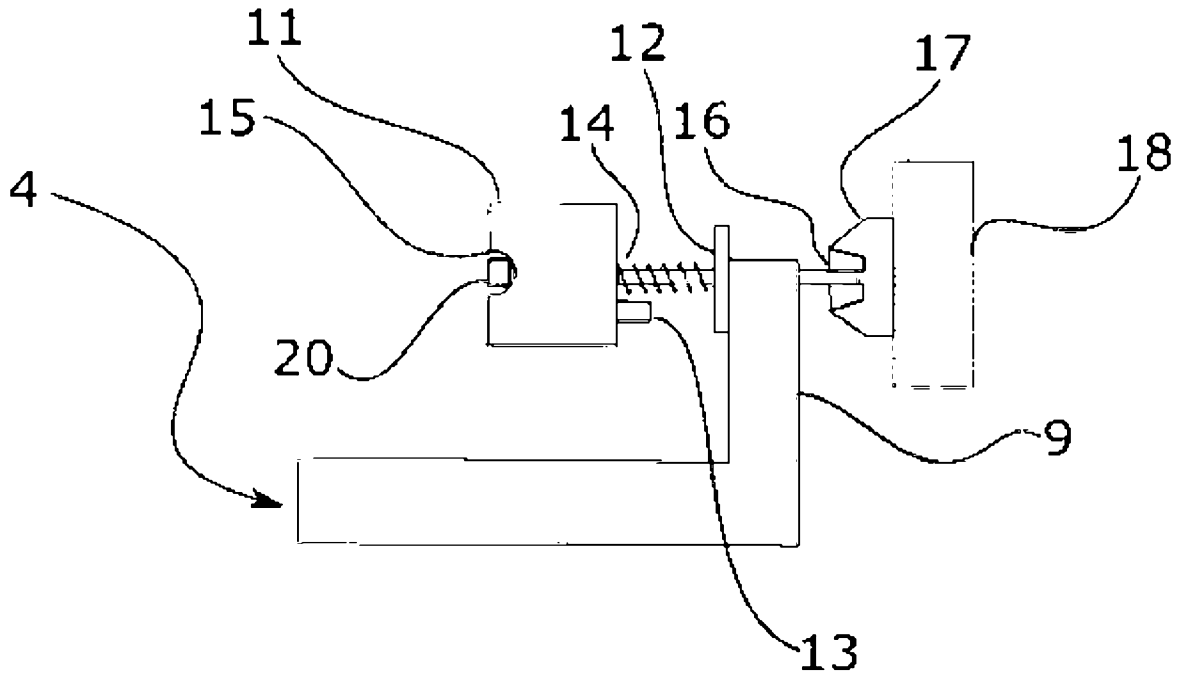


Obr. 2a

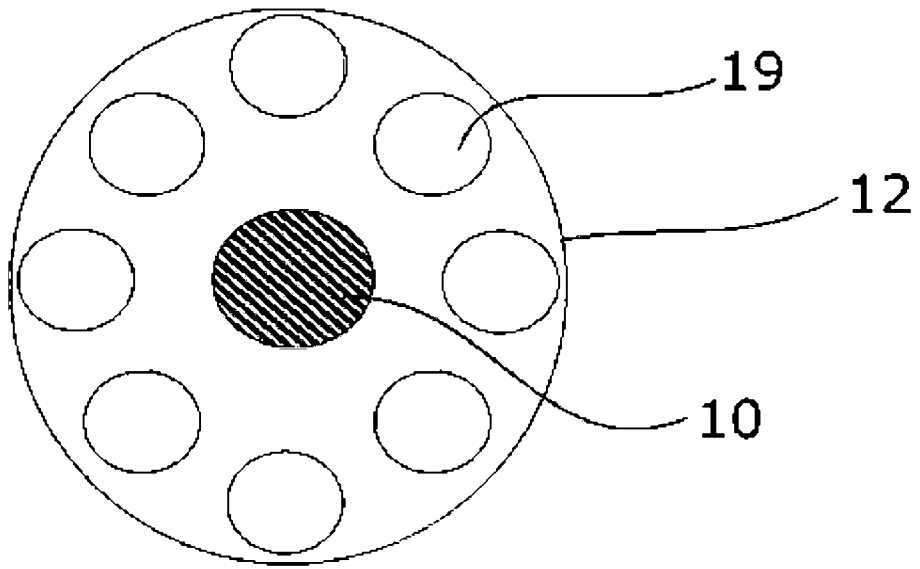


Obr. 2b

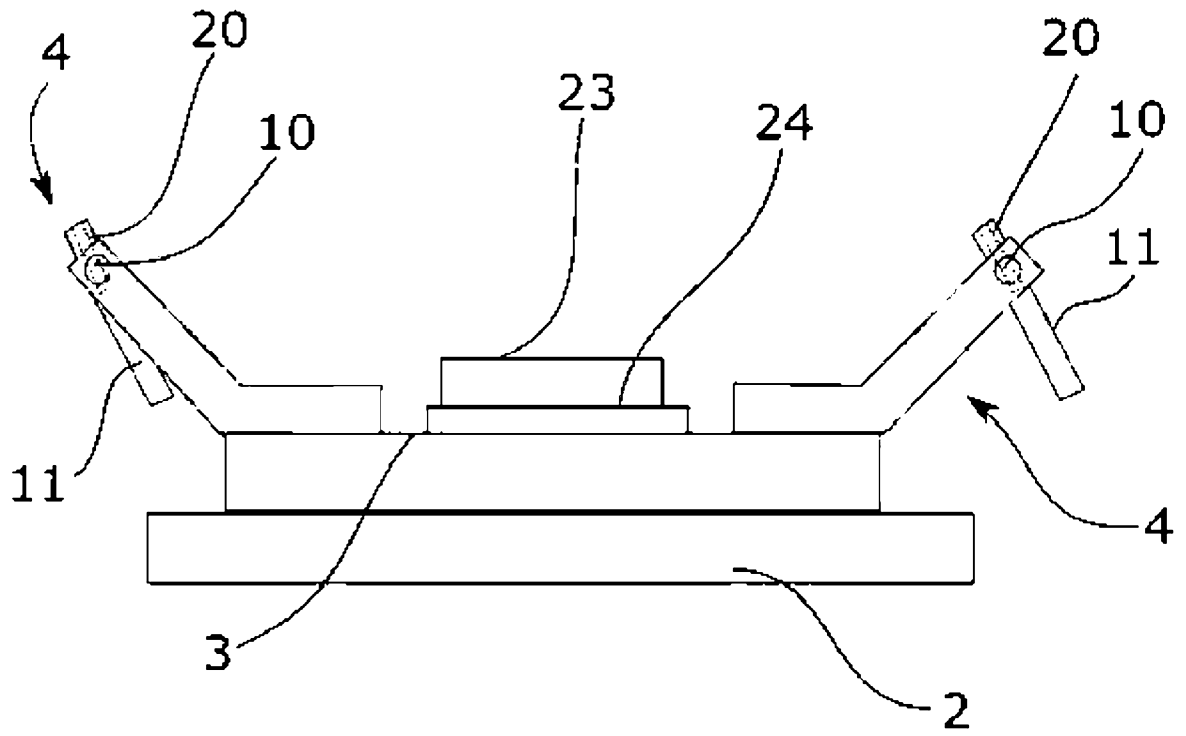




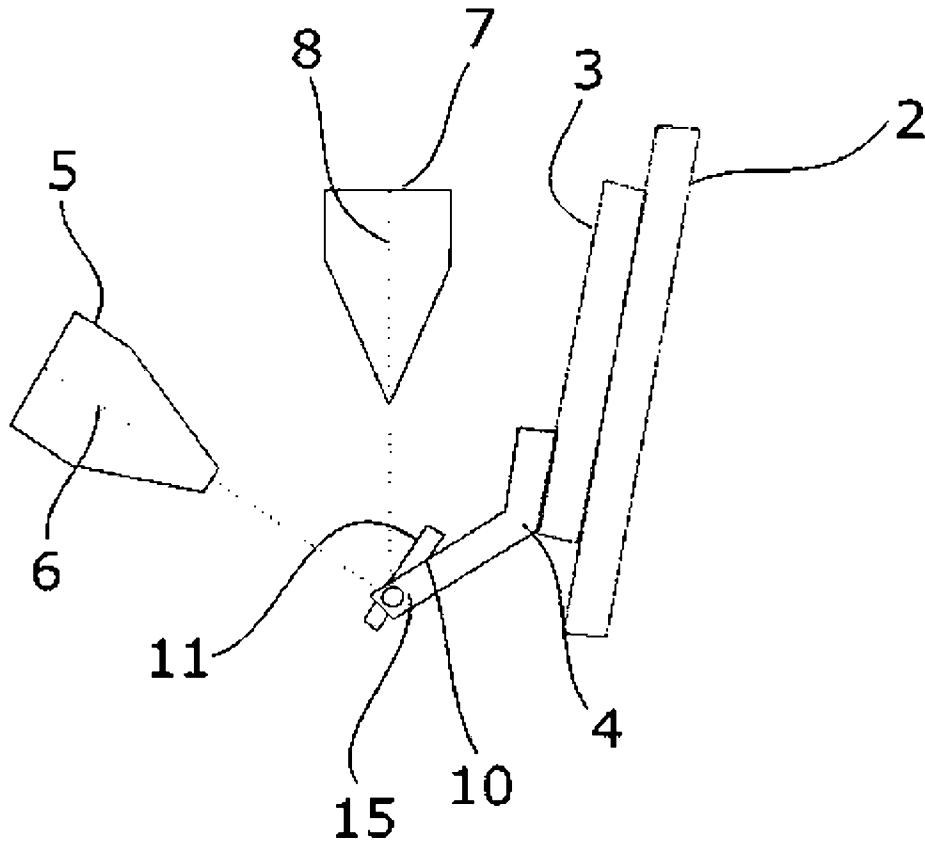
Obr. 2c



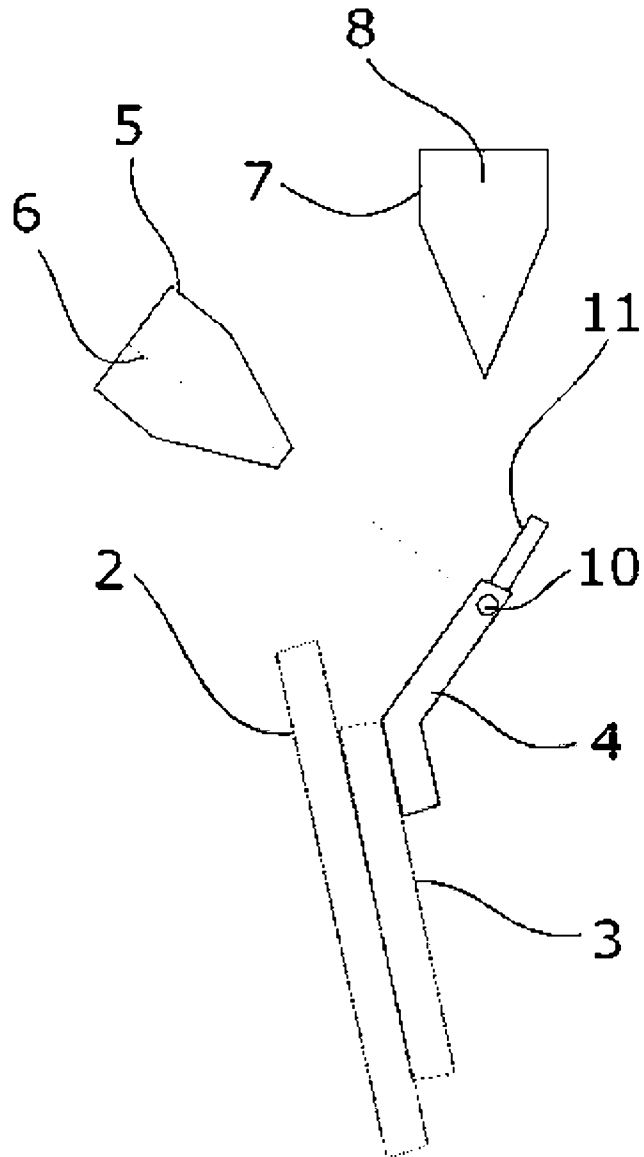
Obr. 3



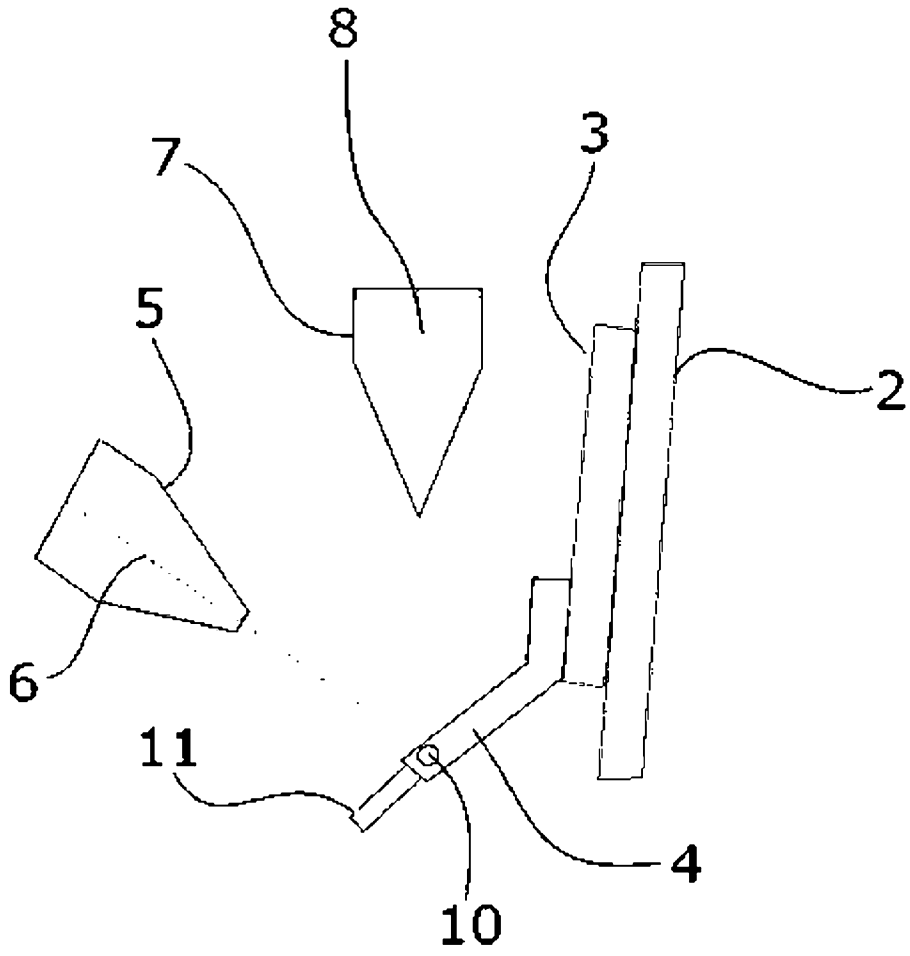
Obr. 4



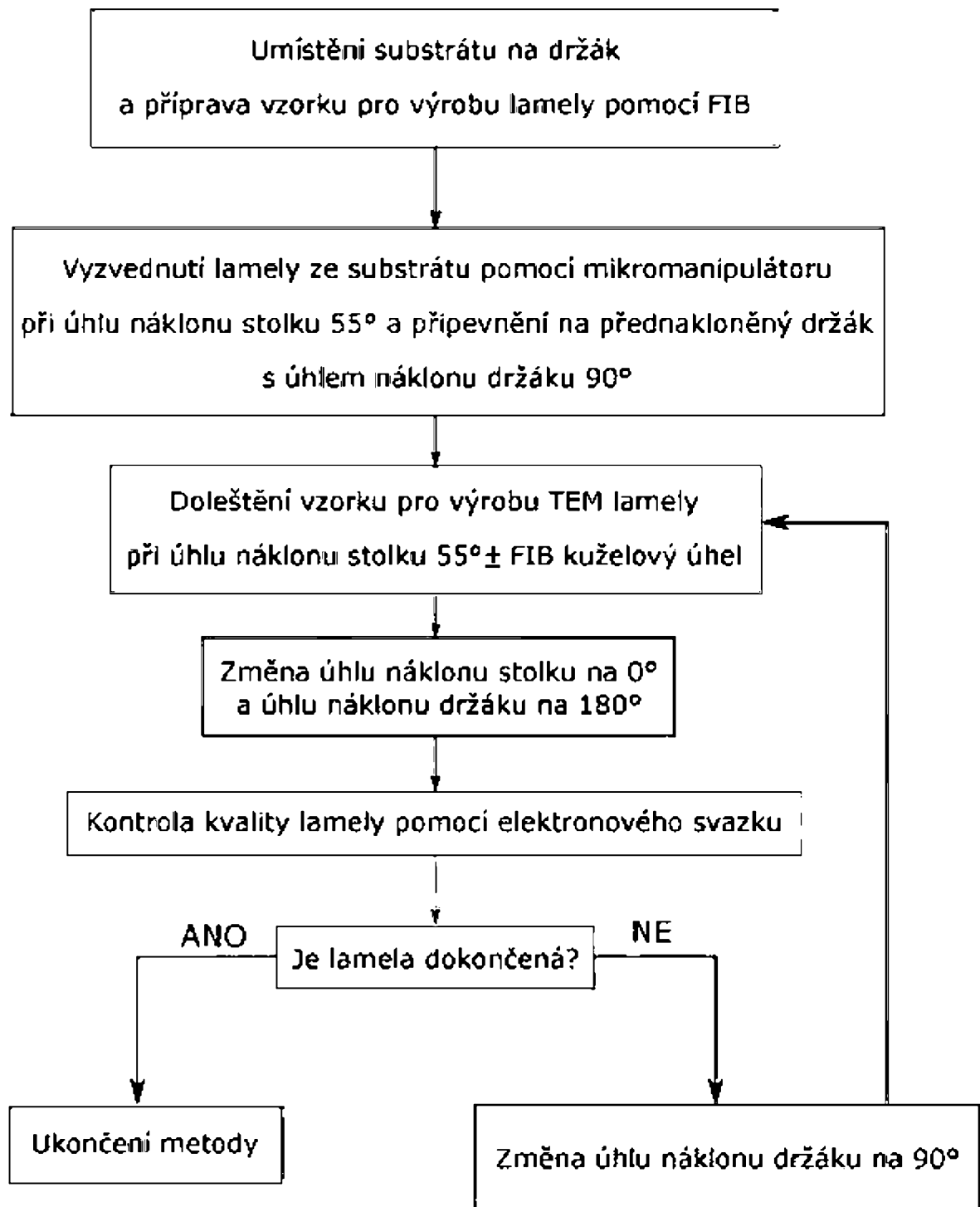
Obr. 5a



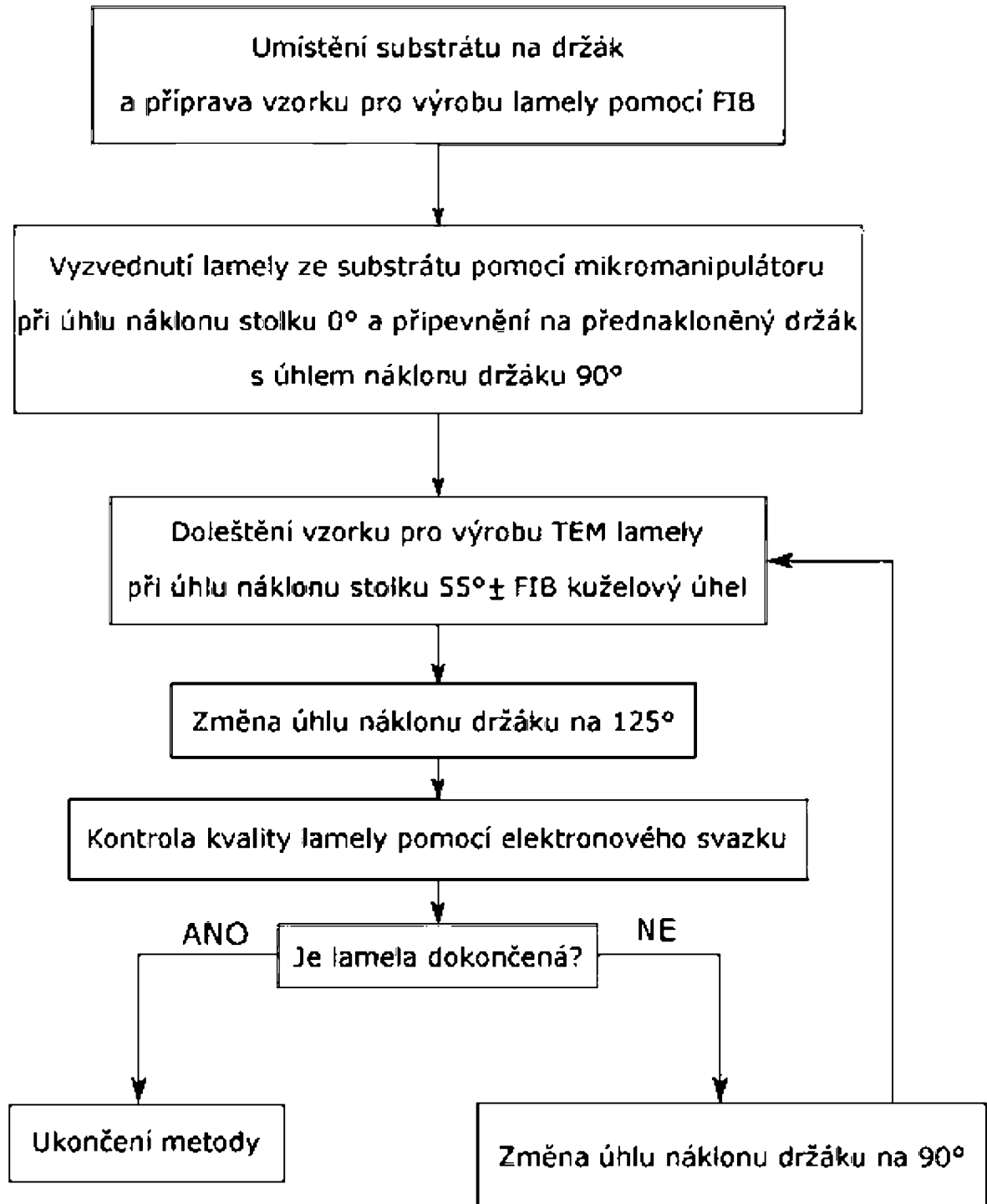
Obr. 5b



Obr. 5c

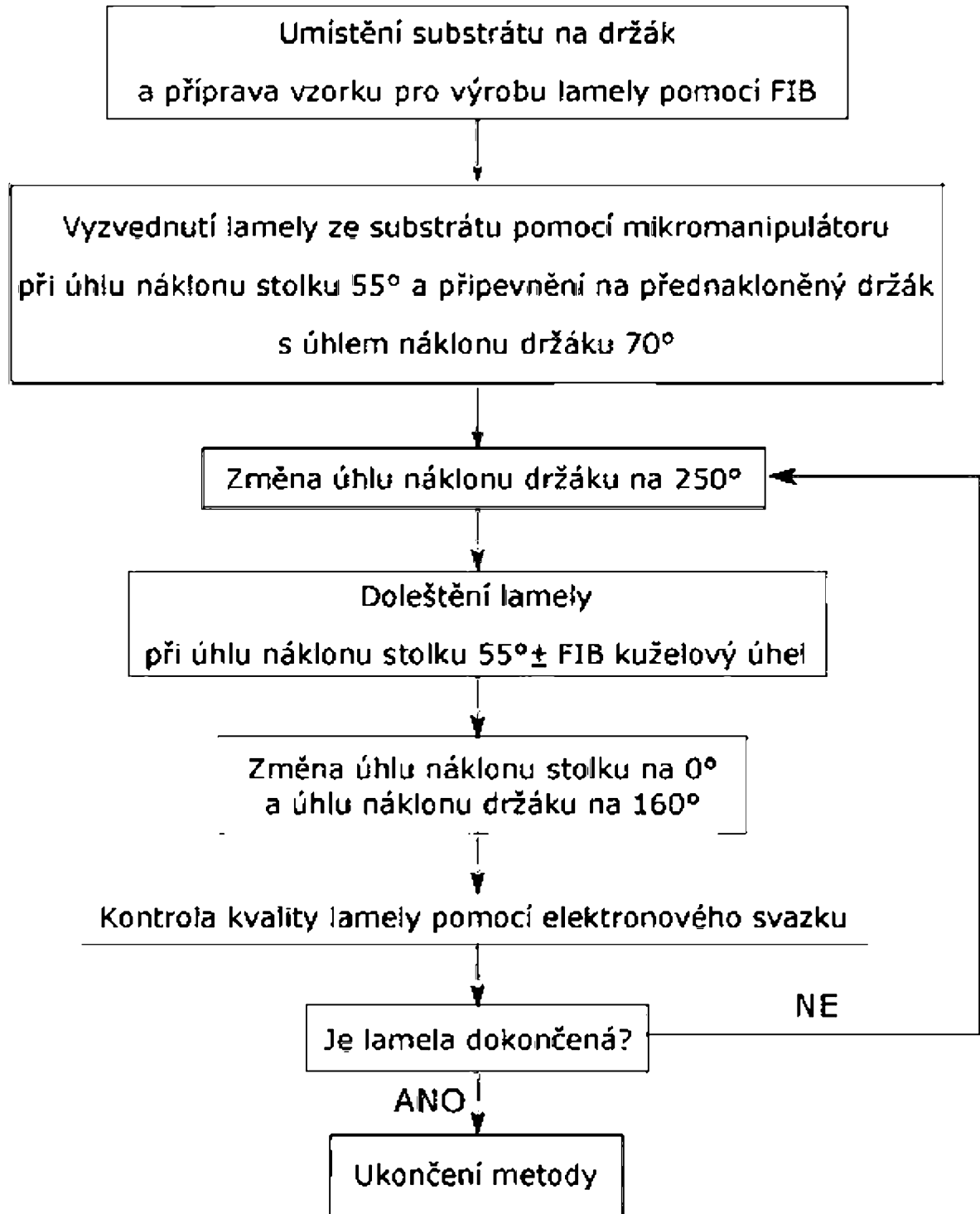


Obr. 6

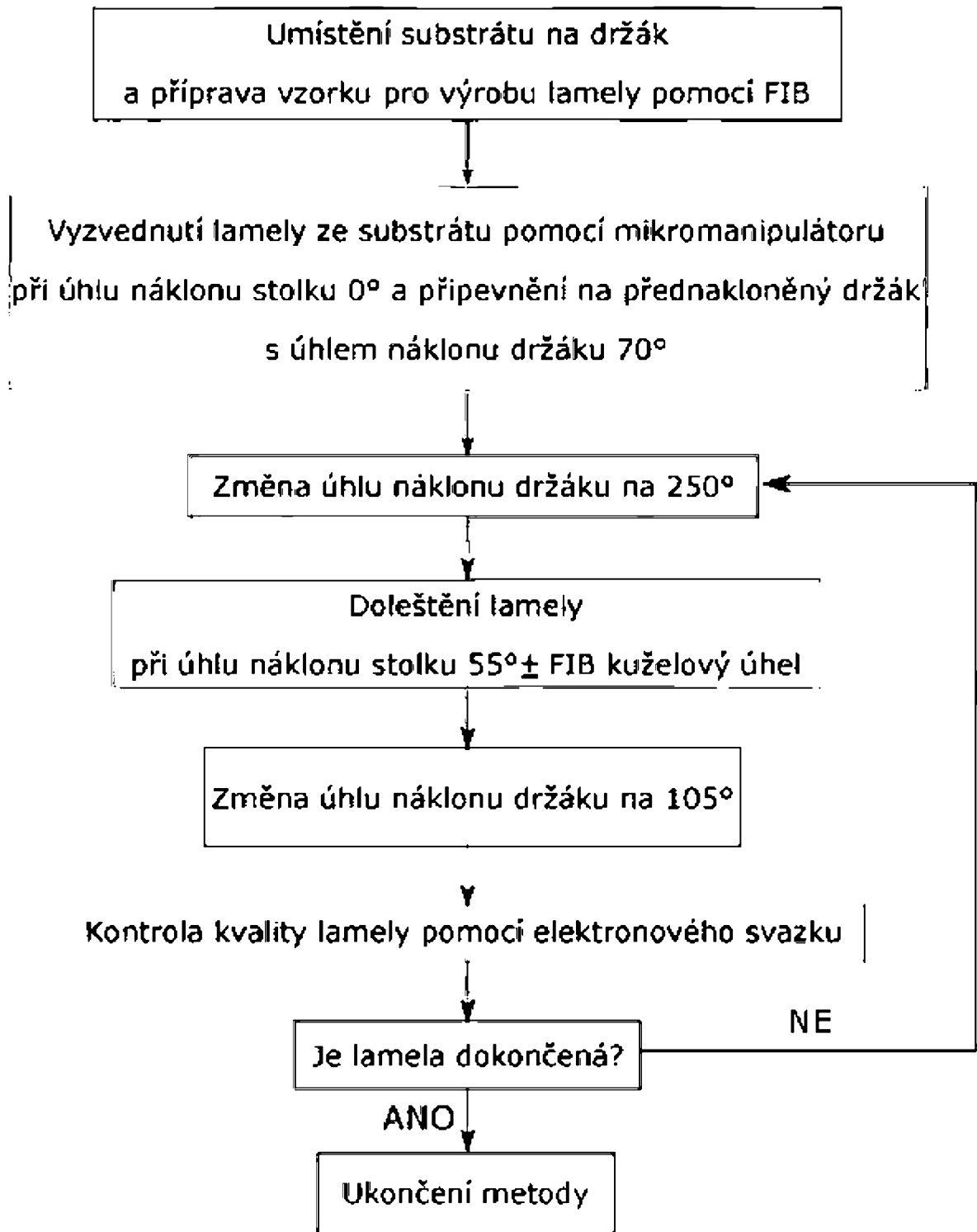


Obr. 7

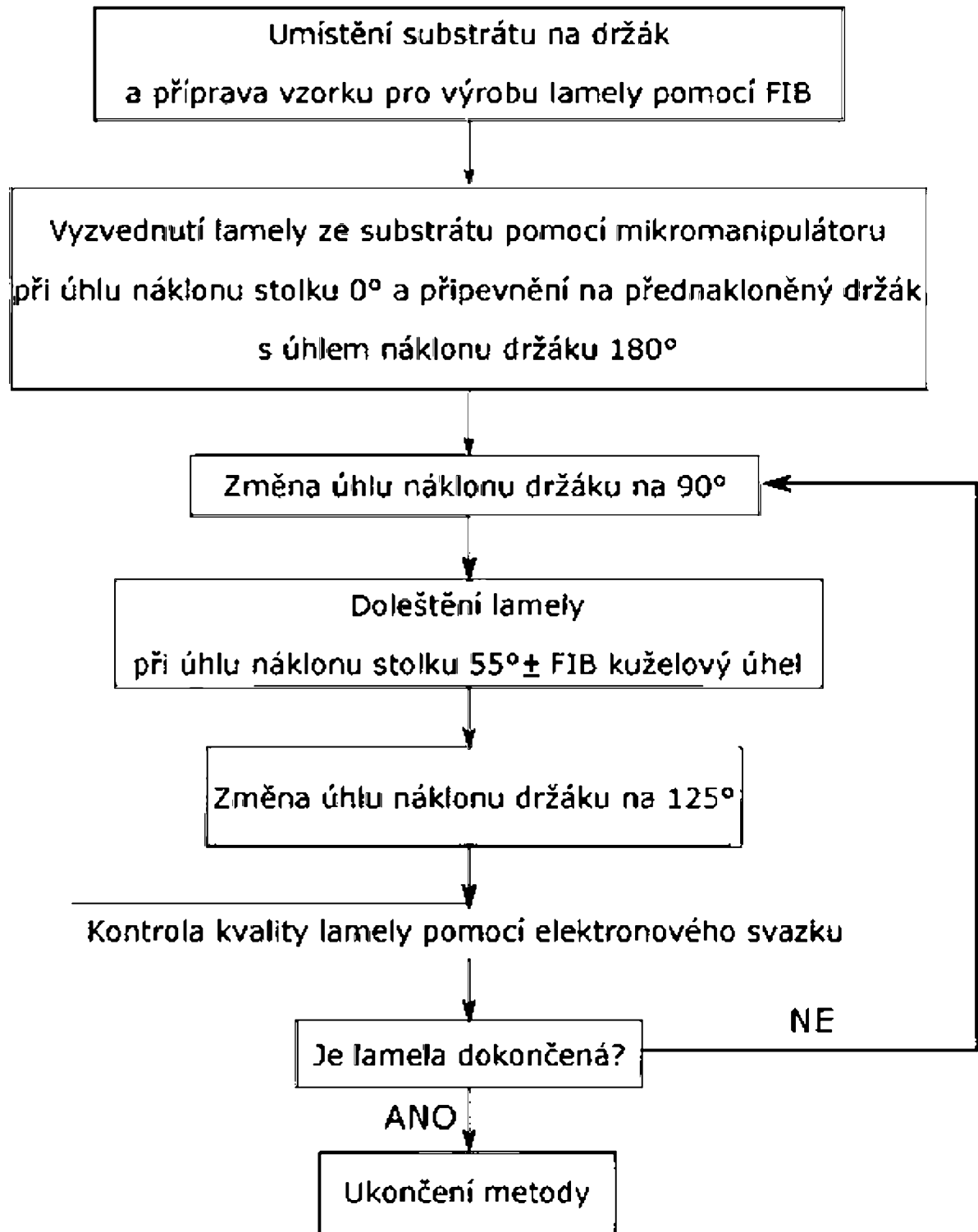




Obr. 8



Obr. 9



Obr. 10