

# PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

## 304 824

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

**H01J 37/30** (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

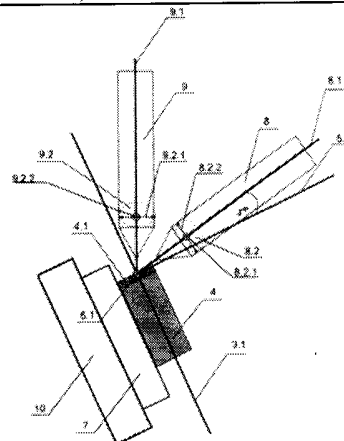
(21) Číslo přihlášky: **2013-547**  
(22) Přihlášeno: **11.07.2013**  
(40) Zveřejněno: **19.11.2014**  
**(Věstník č. 47/2014)**  
(47) Uděleno: **08.10.2014**  
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **19.11.2014**  
**(Věstník č. 47/2014)**

(56) Relevantní dokumenty:  
Kato, N.I., Reducing focused ion beam damage to transmission electron microscopy samples, Journal of Electron Microscopy 53, 451–458, 2004;  
Schwarz S. M. et al. Avoiding the Curtaining Effect: Backside Milling by FIB INLO, MICROSCOPY AND MICROANALYSIS NEW YORK 9; p 116-117, Microscopy and microanalysis the VII InterAmerican congress on electron microscopy Meeting, Cambridge University Press, 2003.  
WO 2013039891 A; WO 2013082496 A; US 2005103746 A; US 2013068948 A; US 2009296073 A; WO 2012103534 A.

(73) Majitel patentu:  
TESCAN ORSAY HOLDING, a.s., Brno,  
Kohoutovice, CZ

(72) Původce:  
Ing. Filip Lopour, Ph.D., Brno, CZ  
Mgr. Tomáš Hrnčíř, Ph.D., Řícmanice, CZ

(74) Zástupce:  
Ing. Hana Dušková, Na Kočově 180, 281 03  
Chotutice



(54) Název vynálezu:  
**Způsob opracovávání vzorku v zařízení se dvěma nebo více částicovými svazky a zařízení k jeho provádění**

(57) Anotace:  
Je řešen způsob opracovávání vzorku v zařízení se dvěma nebo více částicovými svazky a zařízení k jeho provádění, v němž je odprašovaná stěna (4.1) vzorku (4) opracována pomocí rastrování prvním částicovým svazkem a pozorována pomocí rastrování druhým částicovým svazkem. Vzorek (4) je poprvé odprašen přerastrováním prvním částicovým svazkem v první poloze vzorku (4) a po tomto opracování se odprašovaná stěna (4.1) nakloní do druhé polohy kolem osy (3) náklonu vzorku (4) a v této druhé poloze se provede druhé odprašení pomocí přerastrování stejné odprašované stěny (4.1) prvním částicovým svazkem. Osa (3) náklonu vzorku (4) přitom protíná odprašovanou stěnu (4.1). Při všech výše uvedených polohách i pohybech vzorku (4) během a/nebo po odprašení prvním částicovým svazkem dopadá na odprašovanou stěnu (4.1) i druhý částicový svazek, který umožňuje odprašování pozorovat a kontrolovat v reálném čase. Odprašování může také probíhat za plynulého naklání vzorku (4) kolem osy (3).

CZ 304824 B6

## Způsob opracovávání vzorku v zařízení se dvěma nebo více částicovými svazky a zařízení k jeho provádění

### 5 Oblast techniky

Předkládaný vynález se týká způsobu a zařízení pro opracování vzorku v zařízení se dvěma nebo více částicovými svazky, které umožňuje takovou manipulaci se vzorkem, při níž lze odprašovat plochu vzorku prvním částicovým svazkem, který dopadá na tuto plochu pod úhlem v rozmezí 0° až 30° postupně z různých směrů pro odstranění curtaining efektu, a to při současném nebo ve zvolených intervalech prováděném pozorování odprašované plochy druhým částicovým svazkem. Polohu vzorku při pozorování přitom není nutné měnit oproti poloze při odprašování.

### 15 Dosavadní stav techniky

Při obrábění vzorků fokusovaným iontovým svazkem, dále FIB, bývá potřeba dosáhnout co možná nejplanárnějšího povrchu odprašované oblasti. Jednou z aplikací, kde je planární povrch velmi žádoucí, jsou například řezy TSV struktur, což znamená through silicon vias, a jedná se o křemíkové destičky s například měděnými strukturami uvnitř. Při obrábění pomocí FIB ale dochází vzhledem k různým materiálovým a odprašovacím poměrům ke vzniku tzv. curtaining efektu, kde se v ploše vytvářejí vrypy ve směru dopadu svazku. To znamená, že na odprašovaném povrchu se vytvoří struktura s vrypy ve směru dopadu svazku, což je u aplikací, které pro další zkoumání vyžadují rovinný povrch a/nebo konstantní tloušťku vzorku, velmi nežádoucí.

Metodou, která se úspěšně používá pro redukci tohoto efektu, je přešetření povrchu vzorku opětovným přerastrováním svazkem FIB, jehož osy svírají s těmito původními určitý úhel v rovině povrchu vzorku, obvykle úhel v intervalu 5 až 25°. Vrypy vzniklé při prvním přerastrování se tedy při druhém přerastrování pod jiným úhlem prakticky vyruší a výsledkem je hladký, téměř rovinný povrch. Přerastrování FIBem pod dvěma různými úhly v rovině odprašované stěny se obvykle docílí pootočením vzorku kolem osy kolmé na odprašovanou stěnu o tyto dva úhly, přičemž v každé z těchto poloh se provede odprašení vzorku FIBem. Tento postup přešetřování pomocí náklonů vzorku a odprašování v nakloněných polohách je popsán například v článku Characterization and Failure Analysis of 3D Integrated Systems Using a Novel Plasma-FIB System autorů Laurens Kwakman, German Franz, Maaikje Margrete Visser Taklo, Armin Klumpp, and Peter Ramm, který byl zveřejněn ve sborníku AIP Conf. Proc. 1395 FRONTIERS OF CHARACTERIZATION AND METROLOGY FOR NANOELECTRONICS na stranách 269-273.

Hloubku odprašování povrchu je ale u většiny aplikací třeba kontrolovat. Například u TSV struktur je nutné zastavit odprašování uprostřed struktury, které má být dále zkoumána, jindy je třeba odprašit vzorek na přesně definovanou tloušťku a podobně.

Nevýhodou všech známých aplikací je, že neumožňuje tuto současnou kontrolu pozorováním odprašované plochy přímo v průběhu odprašování nebo alespoň po jednotlivých etapách odprašení bez další manipulace se vzorkem. Problém spočívá v tom, že poloha odprašované plochy, která se používá pro odprašování FIBem, neumožňuje, aby se tato odprašovaná plocha pozorovala pomocí svazku FIB. Při odprašování je totiž svazek FIB k ploše, kterou by bylo třeba zobrazit, tečný nebo téměř tečný.

Jednou z možností je po chvíli odprašování vzorek natočit o 90° do polohy pro pozorování FIBem a zpět, ale to způsobuje zdržení, nepřesnost ve zpětném nastavení manipulátoru na původní polohu a neumožňuje pozorovat proces odprašování v reálném čase. Není tedy ani možná dostatečně operativní kontrola procesu odprašování a včasná úprava parametrů odprašování nebo

jeho včasné zastavení, čímž může dojít třeba až k destrukci struktury, která měla být původně zkoumána.

Použití svazku FIB pro odprašování i zobrazování popisuje například patentová přihláška US 2012/0091360 A1. Tato přihláška se zabývá také obtížemi, které působí použití iontového svazku s plazmovým zdrojem při zobrazování. Svazek, který je schopen odprašovat s dostatečnou účinností, by i při zobrazování příliš intenzivně odprašoval vzorek, což je naprosto nežádoucí. Proto přihláška US 2012/0091360 A1 navrhuje mezi odprašováním a zobrazováním provádět zásadní změny v parametrech iontového svazku, například rozdílné buzení prvků iontové optiky na dráze svazku, různé clony omezující svazek a podobně, i změny týkající se iontových zdrojů. Pro odprašování navrhuje Xe ionty, zatímco pro zobrazování H ionty, různé jsou i tlaky plynů, frekvence a výkon RF zdrojů. Takovéto změny parametrů jsou samozřejmě technicky obtížné a nákladné. Zařízení popsané v přihlášce US 2012/0091360 A1 také z principu neumožňuje současné odprašování i pozorování vzorku.

Existují řešení, která umožňují samotnou kontrolu procesu odprašování nebo hloubky odprašení, ale tato řešení zase nelze kombinovat s leštěním povrchu vzorku. Tato řešení se realizují v přístrojích se dvěma částicovými svazky. V těchto přístrojích obvykle jeden svazek, a to svazek FIB, slouží k odprašení povrchu vzorku a druhý svazek, obvykle elektronový z rastrovacího elektronového mikroskopu, dále SEM je využit pro zobrazování odprašovaného povrchu. Zásadní nevýhodou těchto řešení je ale to, že právě v případech, kdy je nutný náklon vzorku pro přešetření. FIBem, je pozorování a kontrola druhým svazkem nemožná, a to minimálně v jedné z nakloněných poloh. Běžné uspořádání totiž neumožňuje, aby druhý svazek na odprašovanou plochu takzvaně viděl, tedy svíral s ní přiměřeně velké úhly, v obou nakloněných polohách.

V dosud známých řešeních bývá vzorek umístěn na držáku vzorku, který je přimontován k manipulátoru, přičemž manipulátor umožňuje vzorkem posouvat a/nebo otáčet. Manipulátory běžně umožňují posun podél tří navzájem kolmých os X, Y, Z, k němuž se ještě mohou přidat rotory nebo náklony. Nejčastěji jde o rotaci, obvykle bez omezení úhlu, to znamená až o 360°, kolem svislé osy Z, doplněnou případně i o náklon, omezený na nějaký ostrý úhel, například max. 45°, kolem jedné z vodorovných os X nebo Y. V případě využití náklonu vzorku se obvykle o stejný úhel naklání i původně svislá osa rotace.

Osy FIB a SEM jsou obvykle různoběžné a oba svazky směřují do oblasti, v níž je odprašovaný vzorek. Kromě toho je vzájemná poloha přístrojů FIB a SEM omezena i fyzickými rozměry těchto zařízení.

Náklon vzorku pomocí manipulátoru slouží k nastavení vzorku do polohy vhodné pro požadovanou aplikaci. Pro samotné pozorování v SEMu to bývá poloha nenakloněná, v níž je plocha držáku vzorku kolmá na osu SEM: Pro opracování FIBem se vzorek obvykle naklání tak, aby svazek FIB při střední poloze rastrování dopadal na opracovávanou plochu buď přibližně kolmo, nebo přibližně tečně. Střední polohou rastrování je taková poloha, v níž rastrovací cívký nebo elektrody nevychylují svazek z původního směru, což je obvykle zároveň i o střední poloha mezi maximálními výchylkami na obě strany ve směrech, v nichž probíhá rastrování. Pro aplikace typu studium TSV struktur, ale i mnohé jiné, je výhodné přibližně tečné odprašování.

V jednom známém uspořádání osy FIB a SEM svírají úhel kolem 50° a plocha držáku vzorku je ve výchozí poloze kolmá na osu SEM. Aby mohla být v tomto případě stěna vzorku kolmá na plochu držáku vzorku odprašována přibližně tečně svazkem FIB, je třeba držákem vzorku naklonit o přibližně 50° oproti výchozímu stavu. V této poloze svírá svazek SEM ve střední poloze rastrování s opracovávanou plochou úhel přibližně 50°, což znamená, že i při přibližně tečném odprašování FIBem je vzorek stále dobře pozorovatelný v SEMu. Bohužel ale při jednom přerastrování odprašované plochy svazkem FIB vzniká na povrchu vzorku výše zmíněný curtaining efekt, který je třeba odstranit přešetřením. Doposud známé metody a běžně používané manipulátory nejsou však schopny toto přešetření zajistit tak, aby byl vzorek v obou polohách,

tedy i v nakloněné poloze nutné pro přešetření odprašené plochy, pozorovatelný svazkem SEM a přešetřování tak bylo permanentně kontrolováno, nebo alespoň bylo kontrolováno ve zvolených intervalech, bez další manipulace se vzorkem. To je zásadní nevýhoda neslučitelná s mnoha aplikacemi, protože minimálně v jedné poloze se odprašuje mimo zorné pole SEM, tedy naslepo, což může způsobit třeba i nechtěné odprašení těch struktur, které měly být pozorovány. Pro náklon vzorku bývá také nutná výměna držáku vzorku. V tomto případě je úhel náklonu vzorku dán úhlem sklonu držáku, je tedy fixní, a není možné dynamicky měnit, což je další nevýhoda.

Patentová přihláška WO 2013039891 pro odstranění curtaining efektu doporučuje provést planarizaci povrchu zkoumané struktury. Toho je dosaženo odprašováním v tečném nebo téměř tečném směru k povrchu vzorku před provedením vlastního řezu. Pokud je curtaining efekt způsoben nehomogenitou samotného řezu, což bývá ve většině případů, toto řešení je funkční jen v omezené míře.

Patentové přihlášky WO 2013082496 a WO 2012103534 jsou specificky zaměřeny na přípravu vzorků pro transmisní elektronovou mikroskopii, dále TEM. Mimo jiné se zabývají i redukcí curtaining efektu při přípravě takových vzorků a navrhují metodu nazvanou backside milling. Při ní se TEM lamely ztenčují ze strany křemíkového substrátu, který je homogenní a curtaining efekt v něm nevzniká. Ke curtaining efektu dochází až ve strukturách pod křemíkem a je zanedbatelný, pokud se zkoumaná vrstva nachází těsně pod křemíkovou deskou. Je navržena také způsobem odstranění povrchových defektů na křemíkovém substrátu.

Metoda popisovaná v těchto přihláškách je úzce zaměřená na přípravu ultratenkých TEM lamel, týká se pouze mělkých řezů a materiálů obsahujících homogenní křemíkovou vrstvou, přičemž curtaining efekt je redukován pouze těsně pod touto vrstvou.

### Podstata vynálezu

Výše uvedené nevýhody odstraňuje předkládaný způsob opracovávání vzorku v zařízení se dvěma nebo více částicovými svazky a zařízení k jeho provádění. Částicové svazky při opracovávání vzorku procházejí tubusy. Odprašovaná stěna vzorku je opracována pomocí rastrování prvním částicovým svazkem a pozorována pomocí rastrování druhým částicovým svazkem. Osa prvního a osa druhého částicového svazku jsou při dopadu na vzorek ve střední poloze rastrování mimoběžné nebo různoběžné. Vzorek je poprvé odprašen přerastrováním prvním částicovým svazkem v první poloze vzorku, v níž osa prvního částicového svazku svírá po celou dobu rastrování s rovinnou odprašované stěny úhel  $\zeta$ , jehož hodnota leží v rozmezí  $0^\circ$  až  $30^\circ$ . Po tomto opracování se odprašovaná stěna nakloní do druhé polohy kolem osy náklonu vzorku. V této druhé poloze se provede druhé odprašení pomocí přerastrování stejné odprašované stěny prvním částicovým svazkem, který na tuto stěnu stále směřuje tak, že osa tohoto prvního částicového svazku opět svírá po celou dobu rastrování s rovinou odprašované stěny úhel  $\zeta$ , jehož hodnota leží v rozmezí  $0^\circ$  až  $30^\circ$ . Podstatou nového způsobu je, že osa náklonu vzorku protíná odprašovanou stěnu, přičemž při všech výše uvedených polohách i pohybech vzorku během a/nebo po odprašení prvním částicovým svazkem dopadá na odprašovanou stěnu i druhý částicový svazek. Tento druhý částicový svazek rastruje přes vybranou oblast odprašované stěny tak, že osa tohoto druhého částicového svazku svírá po celou dobu rastrování druhým částicovým svazkem s normálou k rovině proložené touto odprašovanou stěnou úhly  $<90^\circ$ . Proces odprašování prvním částicovým svazkem je tedy permanentně nebo ve zvolených intervalech kontrolován pozorováním prostřednictvím druhého částicového svazku. Pozorování probíhá při stejné poloze vzorku a tubusu přístrojů s částicovými svazky jako odprašování.

Je výhodné, je-li osa náklonu vzorku protínající odprašovanou stěnu vzorku kolmá na rovinu proloženou odprašovanou stěnou.

Osa druhého částicového svazku může svírat při střední poloze rastrování s normálou k rovině odprašované stěny vzorku úhel  $\omega$ , který je při obou náklonech vzorku kolem osy náklonu vzorku stejný.

5 Další možností je, že náklon kolem osy náklonu vzorku probíhá plynule za současného rastrování prvním částicovým svazkem. Při změně náklonu pak zůstává odprašovaná stěna vzorku stále v zorném poli prvního částicového svazku i druhého částicového svazku a absolutní hodnoty úhlů náklonu jsou libovolně nastavitelné v intervalu ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ).

10 Je rovněž výhodné, když se před prvním opracováním odprašované stěny vzorku prvním částicovým svazkem vzorek nakloní kolem osy náklonu vzorku o úhel  $\alpha$ . Před druhým opracováním odprašované stěny vzorku prvním částicovým svazkem se pak vzorek nakloní kolem osy náklonu vzorku o úhel  $\beta$ , přičemž tyto úhly jsou opačně orientované. Modifikací tohoto kroku je, že úhly  $\alpha$  a  $\beta$  jsou v absolutní hodnotě stejné. Výhodné je, je-li jejich absolutní hodnota  $10^\circ$ .

15 Při plynulé změně náklonu vzorku kolem osy náklonu vzorku za současného odprašování nebo po odprašení v první poloze vzorku, po kterém následuje odprašení ve druhé poloze vzorku, která je oproti první poloze vzorku nakloněná kolem osy náklonu vzorku, dojde k přešetření odprašované stěny vzorku a tedy k redukci curtaining efektu.

20 Kvůli kompenzaci vlivu úhlu sbíhavosti povrchu vytvořeného obráběním vzorku pomocí prvního částicového svazku je výhodné, když je úhel  $\xi$  v absolutní hodnotě shodný s absolutní hodnotou tohoto úhlu sbíhavosti, čímž se zajistí obrábění vzorku v požadovaném směru odprašované stěny.

25 Ve výhodném provedení se v závislosti na obrazu odprašované stěny vzorku pozorovaném druhým částicovým svazkem odprašování prvním částicovým svazkem zastaví v přesně zvolené oblasti opracovávaného vzorku.

30 V případě požadavku na získání představy o 3D struktuře vzorku nebo o struktuře umístěné ve větší hloubce pod povrchem vzorku se uvedený postup naklání do dvou poloh kolem osy náklonu vzorku a odprašování v každé z těchto poloh prvním částicovým svazkem za současného nebo ve zvolených intervalech prováděného pozorování pomocí druhého částicového svazku se periodicky opakuje. Je také možné, že se odprašování periodicky opakuje při plynulé změně náklonu vzorku kolem osy náklonu vzorku za současného nebo ve zvolených intervalech prováděného pozorování pomocí druhého částicového svazku. Při každém opakování tohoto cyklu se  
35 osa prvního částicového svazku posune o zvolenou velikost směrem do hloubky opracovávaného vzorku, a to pohybem samotné osy prvního částicového svazku a/nebo pohybem vzorku.

40 Další možností je, že druhý částicový svazek dopadá na odprašovanou stěnu vzorku tak, že osa tohoto druhého částicového svazku svírá ve střední poloze rastrování s normálou k rovině proložené odprašovanou stěnou úhel  $\omega$  ležící v rozmezí  $20^\circ$  až  $50^\circ$ , typicky  $35^\circ$ .

45 Další možností je, že osa prvního částicového svazku, osa druhého částicového svazku a osa náklonu vzorku leží v jedné rovině.

První a druhý částicový svazek mohou být libovolné kombinace vybrané ze skupiny elektronový svazek, iontový svazek, iontový svazek s kovovými ionty, iontový svazek s plazmovým zdrojem. První a druhý částicový svazek mohou být fokusované.

50 Dalším vylepšením je, že se vzorek naklání a/nebo otáčí ještě kolem první další osy a/nebo kolem druhé další osy, přičemž tyto osy jsou různé od osy náklonu vzorku i od sebe navzájem. Modifikací této varianty je, že první další osa, druhá další osa a osa náklonu vzorku jsou navzájem různoběžné nebo mimoběžné. Tato první další osa a/nebo druhá další osa mohou mít vůči ose náklonu vzorku odchylku  $90^\circ$  nebo blízko  $90^\circ$ . Další možností navíc je, že první další osa má

vůči ose prvního částicového svazku ve střední poloze rastrování odchylku 0-30° a/nebo osa prvního částicového svazku a/nebo osa druhého částicového svazku mají vůči druhé další ose odchylku 90° nebo blízko 90°.

- 5 Ve výhodném provedení je vzorek posuvný ve třech navzájem kolmých směrech.

K provádění výše uvedeného způsobu je použito zařízení, které obsahuje alespoň dva zdroje částicových svazků, které dále procházejí prvním a druhým tubusem. První tubus a druhý tubus jsou osazeny elektrickým nebo elektromagnetickým rastrovacím zařízením pro vytváření alespoň 10 dvou na sebe přibližně kolmých silových polí. Osy alespoň dvou těchto tubusů jsou různoběžné nebo mimoběžné. Siločáry silových polí daného tubusu mají vůči jeho ose odchylku 90° nebo blízko 90°. Zařízení dále obsahuje první sestavu manipulátorů tvořenou alespoň jedním manipulaátorem pro upevnění vzorku, která je naklonitelná kolem alespoň jedné osy, jež je totožná s osou 15 náklonu vzorku připevněného na této první sestavě manipulátorů. Podstatou nového zařízení je, že osa náklonu této první sestavy manipulátorů protíná oblast určenou pro opracovávání vzorek upevněný této první sestavě manipulátorů. Tato první sestava manipulátorů je současně umístěna tak, že oblastí, v níž se nachází na první sestavě manipulátorů upevněný vzorek, prochází také 20 osa prvního tubusu a osa druhého tubusu. Osa náklonu první sestavy manipulátorů má odchylku různou od 90° vůči ose druhého tubusu a vůči ose prvního tubusu má tato osa náklonu odchylku ležící v uzavřeném intervalu od 90° do 60°.

Je výhodné, když je náklon kolem osy náklonu první sestavy manipulátorů plynule nastavitelný alespoň v rozsahu +10° až -10°.

25 Další možností je, že zařízení je uzpůsobeno tak, že siločáry prvního silového pole prvního elektromagnetického nebo elektrického rastrovacího zařízení mají vůči ose náklonu první sestavy manipulátorů odchylku 90° nebo blízkou 90°. Siločáry prvního silového pole druhého elektromagnetického nebo elektrického rastrovacího zařízení mohou mít zároveň vůči ose náklonu první 30 sestavy manipulátorů odchylku v rozmezí 40° až 70°, typicky 55°. Je také možné uspořádání, kdy osa náklonu první sestavy manipulátorů má vůči ose druhého tubusu odchylku v rozmezí 20° až 50°, typicky 35°. Zároveň může mít osa prvního tubusu vůči ose druhého tubusu odchylku v rozmezí 40° až 70°, typicky 55°. Dalším vylepšením je, že osa náklonu první sestavy manipulátorů protíná osu prvního tubusu a/nebo osu druhého tubusu, přičemž průsečík alespoň dvou z těchto 35 tří os je v oblasti vyhrazené pro opracovávání vzorek upevněný na první sestavě manipulátorů.

Zdroje prvního a druhého částicového svazku mohou být libovolné kombinace vybrané ze skupiny zdrojů elektrony, ionty, kovové ionty, plazmový zdroj. Současně také mohou být první i druhý tubus opatřeny prvky pro fokusaci svazku.

40 Ve výhodném provedení je první sestava tvořená alespoň jedním prvním manipulaátorem upevněna na druhé sestavě tvořené alespoň jedním druhým manipulaátorem. Tato druhá sestava manipulátorů s výhodou obsahuje prvky posuvné ve dvou nebo třech navzájem kolmých směrech a prvky pro náklon a/nebo otočení kolem třetí osy a/nebo kolem čtvrté osy. Tato třetí a čtvrtá osa jsou různé od osy náklonu první sestavy manipulátorů i od sebe navzájem. Je výhodné, když jsou 45 třetí a čtvrtá osa a osa náklonu první sestavy manipulátorů navzájem různoběžné nebo mimoběžné. Je výhodné, když má osa náklonu první sestavy manipulátorů vůči třetí ose a/nebo čtvrté ose odchylku 90° nebo blízkou 90°. Ve specifickém provedení má osa prvního tubusu vůči třetí ose odchylku 0 až 30° a/nebo osa prvního tubusu a/nebo osa druhého tubusu mají vůči čtvrté ose odchylku 90° nebo blízkou 90°.

50 Výhodou uvedeného způsobu a zařízení je, že umožňuje odprašovat a přešetřovat povrch vzorku prvním částicovým svazkem při různých úhlech náklonu vzorku, přičemž tyto úhly se mohou během přešetřování i dynamicky měnit, aniž by tato změna úhlu náklonu vzorku způsobovala posun ze zorného pole tohoto prvního částicového svazku. To vše je přitom možné za současného 55 nebo ve zvolených intervalech prováděného pozorování druhým částicovým svazkem. Pro umož-

nění tohoto pozorování přitom není nutná žádná další manipulace se vzorkem ani s jinými částmi zařízení. Odprašování a přešetřování je tak permanentně kontrolováno v reálném čase a je možné ho zastavit přesně v místě struktury, která má být zkoumána. Tato struktura je přitom díky přešetřování téměř dokonale rovinná. Výhodou také je, že navržený způsob a zařízení nejsou omezeny materiálovým složením vzorku, nevyžadují předchozí planarizaci povrchu, fungují i v případech, kdy je řez vzorkem nehomogenní a jsou aplikovatelné i na hlubší řezy až v řádu stovek. Tyto důležité možnosti poskytuje předkládaný vynález zejména díky přidání osy náklonu vzorku, jež protíná odprašovanou stěnu, která je dále leštěna a pozorována.

### Objasnění výkresů

Způsob opracovávání vzorku v zařízení se dvěma nebo více částicovými svazky a zařízení k jeho provádění budou dále blíže vysvětleny pomocí příložených výkresů. V Obr. 1 je znázorněno jedno příkladné provedení vynálezu s vyznačením os svazků, vzorku, odprašované stěny vzorku i osy náklonu vzorku v řezu vedeném rovinou os prvního a druhého částicového svazku.

V Obr. 2a a v Obr. 2b je schematicky znázorněn princip odstranění curtaining efektu v rámci předkládaného vynálezu. Je zachycen postup rastrování 1. částicovým svazkem přes odprašovanou stěnu vzorku, a to při dvou navzájem pootočených polohách vzorku. Znázorněna je také poloha osy 1. částicového svazku a 2. částicového svazku ve střední poloze rastrování, právě tak jako osa náklonu vzorku. Na Obr. 3 je zachyceno další příkladné uspořádání s první a druhou další osou otočení nebo náklonu 5 a 6 včetně kompenzace úhlu sbíhavosti pomocí úhlu  $\zeta$ . V Obr. 4 je příkladné uspořádání zařízení pro provádění předkládaného vynálezu se schematicky zakreslenými tubusy obou přístrojů s částicovým svazkem, rovněž jsou schematicky znázorněny dvě sestavy manipulátorů a osy náklonu a/nebo otočení těchto manipulátorů, přičemž translační osy jsou pro jednoduchost vynechány. Pro jednoduchost jsou rovněž i manipulátory zakresleny pouze jako bloky, bez detailního znázornění jejich konstrukce, která může být pro dosažení stejného účelu různá. V obrázku je také zachycena kompenzace úhlu sbíhavosti pomocí úhlu  $\zeta$ . V témže obrázku jsou navíc zakresleny i výsledné směry siločar, které v rastrovacích zařízeních obou tubusů vychylují svazek. Toto zakreslení je skutečně pouze schématické pro ilustraci výsledných směrů, v nichž svazky rastrují, ve skutečnosti může mít rastrovací zařízení více pater s větším množstvím elektrických nebo magnetických polí. V Obr. 5a a v Obr. 5b jsou snímky odprašovaného povrchu před a po leštění.

### Příklady uskutečnění vynálezu

Způsob opracovávání vzorku v zařízení se dvěma nebo více částicovými svazky se může realizovat například v uspořádání, které je v celkovém pohledu znázorněno na Obr. 1. Pro lepší přehlednost jsou v obrázcích znázorněny pouze ty části zařízení, které jsou důležité z hlediska principu předkládaného vynálezu, tedy osy nebo tubusy částicových svazků, sestavy manipulátorů, osy náklonu vzorku nebo manipulátorů a zkoumaný vzorek s opracovávanou plochou. Je také třeba mít na paměti, že vůči uspořádání znázorněnému v obrázcích je možná celá řada posunů či pootočení jednotlivých částí zařízení, které nijak nenaruší princip fungování způsobu podle předkládaného vynálezu.

V Obr. 1 je schematicky znázorněno jedno příkladné uspořádání pro provádění předkládaného vynálezu. Jde o průřez do roviny osy 1 prvního částicového svazku ve střední poloze rastrování a osy 2 druhého částicového svazku ve střední poloze rastrování v příkladném uspořádání, kdy tyto osy leží v jedné rovině. Podmínka společné roviny os 1 a 2 není ale pro fungování vynálezu podstatná. Případ znázorněný v Obr. 1 je také speciální tím, že osy 1, 2 a osa 3 náklonu vzorku 4 se protínají v jednom bodě na odprašované stěně 4.1 vzorku 4, což také není pro fungování vynálezu nezbytná podmínka. Stačí, aby první částicový svazek v průběhu rastrování dopadal na odprašovanou stěnu 4.1 pod úhlem  $0^\circ$  až  $30^\circ$  a druhý částicový svazek dopadal v průběhu

rastrování na tuto stěnu 4.1 jinak než tečně, přičemž navíc osa 3 náklonu vzorku 4 protíná odprašovanou stěnu 4.1. V Obr. 1 je rovněž znázorněna příkladná konfigurace, v níž je osa 3 náklonu vzorku 4 kolmá na rovinu proloženou odprašovanou stěnou 4.1 vzorku 4. Tyto speciální podmínky byly zvoleny pro větší jednoduchost výkladu, přičemž předkládaný vynález samozřejmě není omezen jen na uspořádání uvedené v Obr. 1, a podobně by fungovala i řada různě posunutých, pootočených a jiných variant.

V uspořádání dle Obr. 1 tedy dopadá na odprašovanou stěnu 4.1 vzorku 4 první částicový svazek, který tuto stěnu odprašuje a jehož osa 1 ve střední poloze rastrování, tedy při nulové výchylce svazku rastrovacím zařízením, svírá s odprašovanou stěnou 4.1 úhel  $\zeta$ , jehož hodnota se obvykle pohybuje mezi  $0^\circ$  až  $30^\circ$ . Tento úhel slouží pro kompenzaci úhlu sbíhavosti povrchu vytvořeného obráběním pomocí prvního částicového svazku, tak aby odprašování probíhalo v rovině odprašované stěny 4.1. Úhel sbíhavosti běžně vzniká při obrábění vzorku fokusovaným iontovým svazkem, anglicky se nazývá tapering angle. Hodnota úhlu sbíhavosti běžně závisí na daných podmínkách obrábění, například na velikosti proudu a stopy iontového svazku a na materiálu vzorku. Aby byl povrch vzorku odprašen v rovině odprašované stěny 4.1, je třeba vzorek 4 nastavit do polohy, v níž odprašovaná stěna 4.1, kterou chce operátor zkoumat, svírá úhel  $\zeta$  s osou 1 prvního částicového svazku, přičemž tento úhel  $\zeta$  a úhel sbíhavosti se při daných podmínkách obrábění v absolutní hodnotě rovnají. V tomto příkladném uspořádání tedy první částicový svazek dopadá pod úhlem  $\zeta$  k rovině proložené stěnou 4.1, navíc rastruje v rovině odkloněné o úhel  $\zeta$  od roviny proložené odprašovanou stěnou 4.1 tak, aby přešel přes celý povrch, který se má opracovat, čímž dojde k odprašení v rovině této odprašované stěny 4.1.

Lokalizace a sklon odprašované stěny 4.1 uvnitř vzorku 4 závisí na tom, jaké struktury jsou uvnitř vzorku uloženy a které z nich mají být zkoumány. Je vhodné, aby odprašovaná stěna 4.1 byla rovnoběžná s rovinou, v níž leží struktura určená ke zkoumání. Podle toho musí být nastavena poloha vzorku 4, a to buď napevno, nebo pomocí dalších os náklonu a/nebo otočení, jak je popsáno u obr. 3. Přitom musí být vzorek 4 orientován tak, aby osa 3 náklonu vždy protínala tuto zvolenou odprašovanou stěnu 4.1. Tohoto účelu lze rovněž dosáhnout buď přimontováním vzorku 4 do potřebné polohy, nebo lze také s výhodou využít dalších os náklonu a/nebo otočení popsaných u obr. 3.

Na odprašovanou stěnu 4.1 vzorku 4 směřuje také druhý částicový svazek, jehož osa 2 svírá po celou dobu rastrování tímto svazkem s normálou 4.1.1 k rovině proložené odprašovanou stěnou 4.1 vzorku 4 úhel  $\omega$  různý od  $90^\circ$ , což znamená, že tato stěna je po celou dobu zobrazitelná pomocí druhého částicového svazku. Druhý částicový svazek rastruje přes operátorem zvolenou oblast odprašované stěny 4.1 vzorku 4. Zobrazení probíhá způsobem známým v zařízeních s částicovými svazky, tzn. v důsledku interakce druhého částicového svazku s povrchovou oblastí vzorku, dojde k emisi sekundárních částic nebo záření, které pak mohou být dále detekovány příslušnými detektory, přičemž signál z těchto detektorů je synchronizován s rastrováním pomocí druhého částicového svazku.

V jednom příkladném uspořádání je velikost úhlu  $\omega$  od  $20^\circ$  do  $50^\circ$ , přičemž typická hodnota je  $35^\circ$ . Po prvním přerastování prvním částicovým svazkem dojde sice k odprašení povrchové vrstvy z odprašované stěny 4.1 vzorku 4, ale v důsledku různých materiálových a odprašovacích poměrů je výsledkem nerovný povrch s vrypy ve směru dopadu svazku, projevuje se takzvaný curtaining efekt. S ohledem na tuto nerovinatost plochy odprašené stěny 4.1 je třeba normálu 4.1.1 chápat jako normálu k rovině proložené odprašovanou stěnou 4.1. Aby se curtaining efekt potlačil, je třeba provést alespoň jedno další rastrování vedoucí k dalšímu odprašení prvním částicovým svazkem přes povrch vzorku, který je nyní po prvním odprašení pokrytý vrypy. Toto další rastrování před prvním odprašením pozměněnou odprašovanou stěnou 4.1, která ale bude pro přehlednost i nadále označována stejným číslem, musí proběhnout tak, aby se vrypy vzniklé při prvním odprašení co nejvíce zredukovaly.

Princip redukce těchto vrypů, a tedy redukce curtaining efektu, je v jednom příkladném uspořádání znázorněn v Obr. 2a a Obr. 2b. Je zde zachycen průmět do roviny proložené odprašovanou stěnou 4.1 vzorku 4 při prvním odprašení a při druhém odprašení. Jsou zde schematicky znázorněny průměty rastrováním vychylované osy 1 prvního částicového svazku probíhajícího přes odprašovanou stěnu při prvním i druhém odprašení. V obrázku zakreslený směr rastrování v obrázku je jen jedním z možných. Vrypy se tvoří ve směru těchto průmětů os. V Obr. 2a je znázorněn první krok v jednom příkladném uspořádání, v němž dojde k prvnímu odprašení stěny 4.1 vzorku 4 v poloze, v níž je vzorek 4 nakloněn o úhel  $\alpha$  kolem osy 3 náklonu vzorku 4. V Obr. 2b je pak znázorněn druhý krok s druhým odprašením téhož povrchu vzorku 4 v poloze pootočené o úhel  $\beta$ , přičemž v tomto příkladném uspořádání je úhel  $\beta$  opačně orientovaný než úhel  $\alpha$ . Vrypy vzniklé při prvním a druhém odprašení pak navzájem svírají úhel o velikosti  $\alpha + \beta$ , probíhají tedy přes sebe křížem a tímto způsobem se do značné míry vyruší. Zde je přitom třeba zdůraznit, že pro fungování vynálezu je podstatné pouze to, aby se vrypy vzniklé při prvním odprašení dostatečně vyrušily s vrypy vzniklými při druhém nebo dalších odprašeních. Není tedy podmínkou, aby byl při prvním odprašení vzorek pootočen, stačí ho pootočit jen při druhém odprašení, není také podmínkou, aby úhly pootočení byly opačně orientované, v principu stačí jen to, aby vrypy vzniklé při prvním a druhém odprašení svíraly vyhovující úhel, obvykle z intervalu  $5^\circ$  až  $25^\circ$ . V jednom výhodném provedení je úhel mezi vrypy vzniklými při prvním a druhém odprašení  $20^\circ$ . Ještě výhodnější je pak provedení vynálezu, v němž nejde jen o odprašení ve dvou fixních polohách vzorku, ale odprašuje se za plynulého naklání vzorku kolem osy 3 náklonu vzorku 4, což má za následek ještě dokonalejší přešetění odprašované stěny 4.1 vzorku 4.

Účinnost tohoto procesu dobře ilustrují Obr. 5a a Obr. 5b. V Obr. 5a je snímek povrchu odprašeného prvním částicovým svazkem, tak jak tento povrch vypadá před přešetěním. Je patrné, že odprašená stěna je pokrytá výraznými vrypy. Na Obr. 5b je pak tentýž povrch po přešetění – zde je dobře vidět, jak vrypy zmizely a objevil se krásně hladký povrch. Oba snímky byly pořízeny pomocí druhého částicového svazku prostřednictvím detekce sekundárních částic, jejichž emise ze vzorku tento druhý částicový svazek vyvolal. Toto přešetění a tedy redukce curtaining efektu je, jak už bylo uvedeno, možné díky náklonu kolem osy 3 náklonu vzorku 4, která, jak je patrné z Obr. 1, protíná odprašovanou stěnu 4.1 vzorku 4. Díky této vzájemné poloze osy 3 náklonu vzorku 4 a odprašované stěny 4.1 spolu s uspořádáním osy 1 prvního částicového svazku a osy 2, druhého částicového svazku, které je popsáno výše, je možné vzorek 4 současně nebo střídavě naklánět, odprašovat, přešetřovat i pozorovat, přičemž i po náklonu kolem osy 3 náklonu vzorku 4 za účelem přešetění zůstane odprašovaná stěna 4.1 v zorném poli obou svazků. Naklání kolem osy 3 náklonu vzorku 4 může být buď statické tak, že vzorek 4 je odprašen ve dvou různých pevných polohách, nebo dynamické, kdy je vzorek 4 odprašován za současného plynulého naklání.

První částicový svazek ani druhý částicový svazek nemusejí dopadat na vzorek ani rastrovat permanentně. Kromě současného dopadu prvního i druhého částicového svazku na odprašovanou stěnu 4.1 vzorku 4 je rovněž možné ve zvolených časových intervalech střídat současné nebo jednotlivé použití těchto svazků. To mimo jiné znamená, že odprašování prvním částicovým svazkem je možné pozorovat druhým částicovým svazkem buď přímo v reálném čase, což vyžaduje, aby byly oba svazky současně zapnuty a nezatemněny, nebo ve zvolených intervalech, přičemž v tomto druhém případě se střídá současné a/nebo jednotlivé zapnutí a/nebo zatemnění obou svazků. Je možný třeba postup, kdy první svazek odpraší povrch vzorku, zatemní se, proběhne pozorování druhým částicovým svazkem, poté se odstraní zatemnění prvního svazku, proběhne další odprašení, první svazek se znovu zatemní a proběhne další pozorování druhým částicovým svazkem. Druhý částicový svazek přitom může být zapnut/nezatemněn buď permanentně, nebo jen v časových intervalech, které následují po každém odprašení. Když první částicový svazek nerastruje přes odprašovanou stěnu permanentně a svazek se zatemní po jedné etapě odprašení a/nebo například ve chvíli, kdy je nutné důkladnější prozkoumání vzniklého povrchu druhým částicovým svazkem, vyloučí se zbytečná destrukce odprašované stěny prvním částicovým svazkem.

Často bývá třeba studovat struktury, které jsou hlouběji pod povrchem vzorku 4. V tom případě dochází k posunu rastrování prvním částicovým svazkem směrem do hloubky vzorku 4, čehož lze dosáhnout buď posunem osy svazku pomocí rastrovacího zařízení, nebo posunem samotného vzorku 4. Díky opakování postupu odprašování, leštění a posunu odprašované oblasti do hloubky vzorku lze získat 3D obraz zkoumaného vzorku 4 ve výborné kvalitě, neboť odprašované plochy netrpí curtaining efektem. Díky tomu, že předkládaný vynález umožňuje kontrolované odprašování a leštění za současného nebo ve zvolených intervalech prováděného pozorování druhým částicovým svazkem, lze také včas zastavit odprašování, když se dostane k místu, které má být podrobně prozkoumáno, což je častý případ například při studiu TSV struktur. Nemůže tak dojít k destrukci struktury, která má být předmětem zkoumání, a naopak je možné podrobné studium kvalitního, přeštěněného a vrypů zbarveného povrchu této struktury.

První a druhý částicový svazek jsou v předkládaném vynálezu libovolné kombinace vybrané ze skupiny elektronový svazek, iontový svazek, iontový svazek s kovovými ionty, iontový svazek s plazmovým zdrojem. Nejvýhodnější je přitom uspořádání, kdy první částicový svazek, provádějící odprašování, je iontový, pro rychlé odprašování pak iontový s plazmovým zdrojem. Pozorování přitom nejvýhodněji probíhá tak, že jako druhý částicový svazek je použit svazek elektronů, který při vhodném nastavení nezpůsobuje destrukci zkoumané plochy. Nejsou ale vyloučeny ani jiné způsoby pozorování. První a druhý částicový svazek jsou přitom s výhodou fokusované, je tedy možné je zaostřit do oblasti vzorku 4.

Vynález se ovšem neomezuje jen na dva svazky, dalších svazků může být libovolný počet podle typu potřebných analýz, může jít i o svazky jiného typu než výše uvedené, například třeba o svazek laserový.

Je samozřejmě výhodné, když kromě výše uvedeného náklonu vzorku 4 kolem osy 3 je možné vzorkem 4 manipulovat i jinak, a to nejlépe bez nutnosti otevírat komoru zařízení. Je tedy výhodné, když je možné vzorkem uvnitř komory posouvat a/nebo otáčet tak, aby se vybrala a do zorného pole obou svazků posunula oblast, která má být odprašována a/nebo pozorována, aby se mohl zvolit sklon odprašované stěny 4.1, aby bylo možné měnit pracovní vzdálenost, aby bylo možné střídavě pozorovat různé v komoře umístěné vzorky a tak dále. Za tímto účelem je vhodné rozšířit vynález o další možnosti náklonu a/nebo otočení a/nebo posunu vzorku.

Jedna z možností uspořádání přídavných os náklonu a/nebo otočení vzorku 4 je znázorněna v Obr. 3. je třeba mít na paměti, že osy se v reálném uspořádání nemusejí protnout v jedné rovině ani v jednom bod. K tomu, aby první další osa 5 náklonu a/nebo otočení vzorku 4 a druhá další osa 6 náklonu a/nebo otočení vzorku 4 usnadnily provádění výše popsaného vynálezu, postačí, když budou vůči sobě i vůči ose 3 náklonu vzorku 4 různoběžné nebo mimoběžné. Obr. 3 ale pro jednoduchost znázorňuje situaci, kdy se průměty os 5, 6 a 3 protínají v jednom bodě. Je znázorněna první další osa 5, kolem níž je možné natáčet vzorek 4 nebo otáčet stolek osazený více vzorky tak, aby se do zorného pole částicových svazků dostal ten potřebný. Je výhodné, když první další osa 5 má vůči ose 3 náklonu vzorku 4 používané pro redukci curtaining efektu odchylku přibližně 90°. Odchylka os nebo jiných přímek je přitom zde i jinde v textu definována takto: jde-li o různoběžné přímky v rovině, jejich odchylka je velikost každého z ostrých nebo pravých úhlů, které přímky spolu svírají. Odchylka dvou rovnoběžných přímek je 0°. Odchylka dvou mimoběžných přímek je odchylka různoběžných přímek vedených libovolným bodem prostoru rovnoběžně s danými mimoběžkami. V Obr. 3 je znázorněna také druhá další osa 6, kolem níž je možné vzorek 4 nakláňet tak, aby se do polohy svírající úhel  $\zeta$  v rozmezí 0° až 30° vůči prvnímu částicovému svazku dostala ta stěna vzorku, která je určena k odprašování. Bez těchto os 5 a 6 by zařízení sice také fungovalo, ale operátor by byl nucen napevno nastavit směr, v němž bude vzorek 4 opracováván, a tedy polohu a sklon odprašované stěny 4.1, a nemohl by tuto polohu a sklon bez přerušení procesu měnit.

V jednom příkladném uspořádání, na něž se však provedení vynálezu nesmí omezovat, mají první další osa 5 a/nebo druhá další osa 6 vůči ose 3 náklonu vzorku 4 odchylku 90° nebo blízkou

90°. Je také výhodné, když první další osa 5 má vůči ose 1 prvního částicového svazku ve střední poloze rastrování odchylku 0 až 30° a/nebo osa 1 prvního částicového svazku a/nebo osa 2 druhého částicového svazku mají vůči druhé další ose 6 odchylku 90° nebo blízkou 90°. Os náklonu a/nebo otočení může být samozřejmě i více, než je znázorněno v Obr. 3.

5

Dále je možné vynález rozšířit i o posun vzorku 4, obvykle ve třech navzájem kolmých směrech X, Y, Z, možné jsou ale posuvy i ve směrech svírajících jiné úhly, pokud by to aplikace vyžadovala.

10

Výše uvedené možnosti dalších otočení a/nebo náklonů vzorku například kolem os 5 a 6 spolu s možnostmi posunu vzorku například ve třech navzájem kolmých směrech umožňují větší pohodlí při provádění výše uvedeného vynálezu.

15

V Obr. 4 je schematicky zakresleno jedno z možných zařízení pro provádění předkládaného vynálezu. Části zařízení, které nejsou pro provádění vynálezu podstatné, jsou v obrázku vynechány. Jde o průmět do roviny osy 8.1 prvního tubusu 8 prvního přístroje s částicovým svazkem a osy 9.1 druhého tubusu 9 druhého přístroje s částicovým svazkem v příkladném uspořádání, kdy tyto osy 8.1 a 9.1 leží v jedné rovině. Tato podmínka není ale pro fungování vynálezu podstatná. Je třeba jen to, aby osy 8.1 a 9.1 byly navzájem různoběžně nebo mimoběžně. V Obr. 4 je dále schematicky znázorněna první sestava 7 manipulátorů s osou náklonu 3.1. Znázorněna je pouze jako blok, jeho konstrukční uspořádání může být různé a může jít buď jen o jeden manipulátor, nebo o sestavu manipulátorů umožňující více pohybů než je náklon kolem osy 3.1. Osa náklonu 3.1 první sestavy 7 manipulátorů je totožná s osou 3 náklonu vzorku 4 připevněného na této první sestavě 7 manipulátorů, protože první sestava 7 manipulátorů i vzorek 4 na něm připevněný se naklání společně.

20

25

Případ znázorněný v Obr. 4 je také speciální tím, že průměty os 8.1, 9.1 a osy 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů se protínají v jednom bodě na odprašované stěně 4.1 vzorku 4, což také není pro fungování vynálezu nezbytná podmínka, i když pro provádění vynálezu je takové uspořádání výhodné. V Obr. 4 je rovněž znázorněna příkladná konfigurace, v níž je osa 3.1 první sestavy 7 manipulátorů kolmá na rovinu proloženou odprašovanou stěnou 4.1 vzorku 4. Tyto speciální podmínky byly zvoleny pro větší jednoduchost výkladu, přičemž předkládaný vynález samozřejmě není omezen jen na uspořádání uvedené v Obr. 4 a podobně by fungovala i řada různě posunutých, pootočených a jiných variant.

30

35

Pro fungování vynálezu je dále výhodné, když první sestava 7 manipulátorů umožňuje náklon kolem osy 3.1 náklonu alespoň v rozsahu +10°, -10° a když je tento náklon plynule nastavitelný.

40

45

50

Výhodné uspořádání uvedené na obr. 4 je tedy mimo jiné ilustrací vybrané výhodné konfigurace os, a to osy 3.1 náklonu, osy 8.1 prvního tubusu 8 a osy 9.1 druhého tubusu 9. Pro fungování vynálezu ale stačí, když bude poloha těchto os splňovat jen dále uvedené tři podmínky. První podmínkou je, že osa 8.1 prvního tubusu 8, osa 9.1 druhého tubusu 9 a osa 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů protínají oblast, v níž se nachází na první sestavě 7 manipulátorů upevněný vzorek 4. Další podmínkou je, že osa 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů má odchylku různou od 90° vůči ose 9.1 druhého tubusu 9, což je potřeba pro to, aby svazek částic procházející druhým tubusem dopadal na odprašovanou plochu jinak než tečně a byl schopen ji zobrazovat. Poslední podmínkou je, že vůči ose 8.1 prvního tubusu 8 má osa 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů odchylku ležící v uzavřeném intervalu od 90° do 60°, což je potřebné pro odprašování zvolené odprašované stěny 4.1. Podmínkami uvedenými v tomto odstavci se při vhodném uspořádání rastrovacích zařízení v obou tubusech zajistí, že odprašování a pozorování odprašované plochy probíhá v takové konfiguraci, že i při náklonu kolem osy 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů, který nutný pro přešetření odprašovacího povrchu, zůstává odprašovaný povrch stále v zorném poli obou svazků.

Kromě os 8.1 a 9.1 tubusů jsou v Obr. 4 znázorněny i samotné tubusy přístrojů s částicovými svazky, a sice první tubus 8 a druhý tubus 9. Opět jde o schématické znázornění, geometrické parametry obou tubusů 8 a 9 se samozřejmě mohou lišit, šířky, délka ani tvar pólových nástavců nemusejí být stejné atd. V tubusech jsou schématicky zakreslena také příslušná rastrovací zařízení s vyznačením výsledných směrů vychylování svazku. První tubus 8 je osazen prvním elektrickým nebo elektromagnetickým rastrovacím zařízením 8.2 pro vytváření alespoň dvou silových, tedy elektrických nebo elektromagnetických, polí 8.2.1, 8.2.2, která slouží pro vychylování svazku při rastrování. Je výhodné, když jsou na sebe siločáry těchto polí 8.2.1 a 8.2.2 kolmé nebo svírají úhel mezi  $70^\circ$  a  $90^\circ$ . První rastrovací zařízení 8.2 může být sestaveno i z více pater silových polí, případně mohou být v každém patře i více než dvě silová pole, která se navzájem skládají. V tom případě je třeba pod poli 8.2.1, 8.2.2 chápat výsledné směry, v nichž je vychylován svazek. Druhý tubus 9 je osazen druhým elektrickým nebo elektromagnetickým rastrovacím zařízením 9.2 pro vytváření alespoň dvou silových, tedy elektrických nebo elektromagnetických, polí 9.2.1, 9.2.2, která rovněž slouží pro vychylování svazku při rastrování. Je výhodné, když jsou na sebe siločáry těchto polí 9.2.1 a 9.2.2 kolmé nebo mají odchylku s hodnotou mezi  $70^\circ$  a  $90^\circ$ . Druhé rastrovací zařízení 9.2 může být sestaveno i z více pater silových polí, případně mohou být v každém patře i více než dvě silová pole, která se navzájem skládají. V tom případě je třeba pod poli 9.2.1, 9.2.2 chápat výsledné směry, v nichž je vychylován svazek. Siločáry silových polí 8.2.1 a 8.2.2 mají vůči ose 8.1 prvního tubusu 8 odchylku ležící v intervalu  $70^\circ$  až  $90^\circ$ , s výhodou  $90^\circ$ , a podobně siločáry silových polí 9.2.1 a 9.2.2 mají vůči ose 9.1 druhého tubusu 9 odchylku ležící v intervalu  $70^\circ$  až  $90^\circ$ , s výhodou  $90^\circ$ . Výhodné uspořádání s odchylkami  $90^\circ$  je znázorněno v Obr. 4.

Dále je výhodné, když siločáry prvního silového pole 8.2.1 prvního elektromagnetického nebo elektrického rastrovacího zařízení 8.2 mají vůči ose 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů odchylku  $90^\circ$  nebo odchylku ležící v intervalu  $70^\circ$  až  $90^\circ$ . Díky tomu pak rastrování spojené s odprašováním probíhá ve stejné nebo přibližně stejné rovině jako naklánění odprašované plochy kolem osy 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů. Rastrování pomocí druhého silového pole 8.2.2 pak slouží k vychylování osy prvního částicového svazku směrem dovnitř vzorku 4 ve směru osy 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů, díky čemuž je možné zkoumat struktury uložené hlouběji pod povrchem. Podobného efektu, tedy posunu odprašování do hloubky vzorku, je ale možné dosáhnout i posunem samotného vzorku 4 vůči prvnímu tubusu 8. Tento posun je možný díky přidavně druhé sestavě 10 manipulátorů, jež je popsána níže. Možná je také kombinace obou postupů, tedy posunu prvního částicového svazku i posunu vzorku v navzájem opačných směrech.

Je také, výhodné, když siločáry prvního silového pole 9.2.1 druhého elektromagnetického nebo elektrického rastrovacího zařízení 9.2 mají vůči ose 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů odchylku v rozmezí  $40^\circ$  až  $70^\circ$ , typicky  $55^\circ$ .

Geometrické parametry tubusů s částicovými svazky obvykle vedou k výhodnému uspořádání, v němž má osa 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů vůči ose 9.1 druhého tubusu 9 odchylku v rozmezí  $20^\circ$  až  $50^\circ$ , typicky  $35^\circ$ . Tato pozice osy 3.1 náklonu může být buď fixně daná, nebo je možné do ní tuto osu 3.1 naklonit pomocí druhé sestavy 10 manipulátorů tvořené alespoň jedním manipulátorem, která je podrobněji popsána níže. Je to pozice výhodná s ohledem na obvyklé uspořádání tubusů, které je obvykle takové, že osa 8.1 prvního tubusu 8 má vůči ose 9.1 druhého tubusu 9 odchylku v rozmezí  $40^\circ$  až  $70^\circ$ , typicky  $55^\circ$ . V této poloze je možné pohodlně odprašovat povrch svírající s osou 8.1 prvního tubusu 8 úhel od  $0^\circ$  do  $30^\circ$  a zároveň i při náklonech kolem osy 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů tento povrch pozorovat částicovým svazkem procházejícím druhým tubusem 9.

V Obr. 4 je navíc znázorněna i rozšířená verze vynálezu s přidavnou druhou sestavou 10 manipulátorů, opět znázorněnou schématicky jako blok bez detailního znázornění konkrétního konstrukčního uspořádání, které může být různé. Přidavná druhá sestava 10 manipulátorů je přitom tvořena alespoň jedním manipulátorem, běžně však obsahuje manipulátorů více. Tato přidavná

druhá sestava 10 manipulátorů není pro fungování předkládaného vynálezu nezbytná, ale její přidání umožňuje větší pohodlí při manipulaci se vzorkem. První sestava 7 manipulátorů je za tímto účelem přimontována na druhou sestavu 10 manipulátorů, takže pohyby této druhé sestavy 10 manipulátorů vedou i k pohybu první sestavy 7 manipulátorů, na níž je přimontován vzorek 4 nebo vzorky 4, a tedy i k pohybu vzorku 4. Díky přidání druhé sestavy 10 manipulátorů je tedy možné měnit pracovní vzdálenost, volit mezi různými vzorky 4, které mohou být případně současně upevněny na první sestavě 7 manipulátorů, volit oblast vzorku 4, volit sklon odprašované plochy a podobně, to vše bez nutnosti otvírat komoru zařízení a bez nutnosti ruční manipulace se vzorkem 4. Druhá sestava 10 manipulátorů za tímto účelem obsahuje prvky posuvné ve dvou nebo třech navzájem kolmých směrech a/nebo prvky pro náklon a/nebo otočení kolem třetí osy 5.1 a/nebo kolem čtvrté osy 6.1, kde tato třetí osa 5.1 a čtvrtá osa 6.1 jsou různé od osy 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů i od sebe navzájem a s výhodou jsou s osou 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů navzájem různoběžné nebo mimoběžné. Třetí osa 5.1, která slouží jako osa otáčení, umožňuje obvykle neomezený rozsah otáčení 0° až 360°. U čtvrté osy 6.1, sloužící jako osa náklonu, bývá obvykle rozsah naklánění z konstrukčních důvodů omezen na určitý interval úhlů.

Ve výhodných uspořádáních má osa 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů vůči třetí ose 5.1 a/nebo vůči čtvrté ose 6.1 odchylku 90° nebo odchylku ležící v intervalu 70° až 90°. Ve výhodných uspořádáních má také osa 8.1 prvního tubusu 8 vůči třetí ose 5.1 odchylku 0 až 30° a/nebo osa 8.1 prvního tubusu 8 a/nebo osa 9.1 druhého tubusu 9 mírají vůči čtvrté ose 6.1 odchylku 90° nebo ležící v intervalu 70° až 90°.

Obr. 4 pro jednoduchost znázorňuje výhodnou situaci, kdy se průměty os 5.1, 6.1 a 3.1 protínají v jednom bodě, který je navíc v tomto speciálním uspořádání totožný s průmětem průsečíků osy 8.1 prvního tubusu 8 a osy 9.1 druhého tubusu 9. Je třeba mít na paměti 5.1, 6.1 a 3.1 se v reálném uspořádání nemusejí protnout v jedné rovině ani v jednom bodě. K tomu, aby první další osa 5.1 druhá další osa 6.1 náklonu usnadnily provádění výše popsaného vynálezu, postačí, když budou vůči sobě i vůči ose 3.1 náklonu první sestavy 7 manipulátorů různoběžné nebo mimoběžné.

Zdroje prvního a druhého částicového svazku jsou libovolné kombinace vybrané ze skupiny zdrojů elektrony, ionty, kovové ionty, plazmový zdroj. Přitom je výhodné, když je zdroj v prvním tubusu 8 iontový a pro rychlejší odprašování iontový plazmový, a když je zdroj ve druhém tubusu 9 elektronový, aby při pozorování nedocházelo k destrukci povrchu.

První tubus 8 i druhý tubus 9 bývají s výhodou opatřeny prvky pro fokusaci svazku, obvykle jde o elektromagnetické nebo elektrostatické čočky. Zobrazení pomocí druhého částicového svazku přitom probíhá způsobem známým v zařízeních s částicovými svazky, to znamená, že v důsledku interakce druhého částicového svazku s povrchovou oblastí vzorku dojde k emisi sekundárních částic nebo záření, které pak mohou být dále detekovány příslušnými detektory, přičemž signál z těchto detektorů je synchronizován s rastrováním pomocí druhého částicového svazku.

Zařízení podle předkládaného vynálezu může samozřejmě obsahovat i řadu dalších prvků, další tubusy s dalšími svazky, detektory, odměřovací zařízení a mnoho jiných, které zde nejsou výslovně popsány.

#### Průmyslová využitelnost

Předkládaný způsob a zařízení jsou využitelné pro odprašování a přešetřování struktur a pozorování těchto přešetřených struktur v přístrojích s částicovými svazky. Díky vynálezu je možné vzorek naklánět tak, aby bylo možné při odprašování jedním částicovým svazkem dosáhnout hladkého, curtainingu efektu zbaveného povrchu vzorku. Přitom vzorek stále zůstává v zorném poli prvního i druhého částicového svazku. Druhým částicovým svazkem je možné permanentně

nebo ve zvolených intervalech odprašovaný povrch kontrolovat a/nebo pozorovat, aniž by byla nutná další manipulace se vzorkem a/nebo s tubusy částicových svazků. Díky této možnosti pozorovat proces odprašování v reálném čase nehrozí destrukce pozorované struktury, proces probíhá rychle a bez nepřesností, které by jinak způsobovala nutnost další manipulace se vzorkem. Tento způsob i zařízení se s výhodou uplatní všude tam, kde je potřeba zkoumat opravdu hladký povrch vzorku bez artefaktů typu curtaining efektu, přičemž dále umožňuje mít v reálném čase kontrolu nad procesem odprašování. Předkládaný vynález lze mimo jiné použít pro zkoumání TSV struktur a jiných polovodičových vzorků, pro zkoumání polykrystalických vzorků, pro získávání 3D obrazu struktury vzorku a podobně.

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob opracovávání vzorku v zařízení se dvěma nebo více částicovými svazky procházejícími tubusy, v němž je odprašovaná stěna (4.1) vzorku (4) opracována pomocí rastrování prvním částicovým svazkem a pozorována pomocí rastrování druhým částicovým svazkem a osa (1) prvního částicového svazku a osa (2) druhého částicového svazku jsou při dopadu na vzorek ve střední poloze rastrování mimoběžné nebo různoběžné a kde je dále vzorek (4) poprvé odprašen přerastrováním prvním částicovým svazkem v první poloze vzorku (4), v níž osa (1) prvního částicového svazku svírá po celou dobu rastrování s rovinou odprašované stěny (4.1) úhel ( $\zeta$ ), jehož hodnota leží v rozmezí  $0^\circ$  až  $30^\circ$ , a po tomto opracování se odprašovaná stěna (4.1) nakloní do druhé polohy kolem osy (3) náklonu vzorku (4) a v této druhé poloze se provede druhé odprašení pomocí přerastrování stejné odprašované stěny (4.1) prvním částicovým svazkem, který na tuto stěnu stále směřuje tak, že osa (1) tohoto prvního částicového svazku opět svírá po celou dobu rastrování s rovinou odprašované stěny (4.1) úhel  $\zeta$ , jehož hodnota leží v rozmezí  $0^\circ$  až  $30^\circ$ , **vyznačující se tím**, že osa (3) náklonu vzorku (4) protíná odprašovanou stěnu (4.1), přičemž při všech výše uvedených polohách i pohybech vzorku (4) během a/nebo po odprašení prvním částicovým svazkem dopadá na odprašovanou stěnu (4.1) i druhý částicový svazek, který rastruje přes vybranou oblast odprašované stěny (4.1) tak, že osa (2) tohoto druhého částicového svazku svírá po celou dobu rastrování druhým částicovým svazkem s normálou (4.1.1) k rovině proložené touto odprašovanou stěnou (4.1) úhly  $<90^\circ$ , a kde je tedy proces odprašování prvním částicovým svazkem permanentně nebo ve zvolených intervalech kontrolován pozorováním prostřednictvím druhého částicového svazku, přičemž pozorování probíhá při stejné poloze vzorku (4) a tubusů přístrojů s částicovými svazky jako odprašování.
2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že osa (3) náklonu vzorku (4) protíná odprašovanou stěnu (4.1) vzorku (4) je kolmá na rovinu proloženou odprašovanou stěnou (4.1).
3. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že osa (2) druhého částicového svazku svírá při střední poloze rastrování s normálou k rovině odprašované stěny (4.1) vzorku (4) úhel ( $\omega$ ), který je při obou náklonech vzorku (4) kolem osy (3) náklonu vzorku (4) stejný.
4. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že náklon kolem osy (3) náklonu vzorku (4) probíhá plynule za současného rastrování prvním částicovým svazkem, přičemž při změně náklonu pak zůstává odprašovaná stěna (4.1) vzorku (4) stále v zorném poli prvního částicového svazku i druhého částicového svazku a absolutní hodnoty úhlů náklonu jsou libovolně nastavitelné v intervalu ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ).
5. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že před prvním opracováním odprašované stěny (4.1) vzorku (4) prvním částicovým svazkem se vzorek

(4) nakloní kolem osy (3) náklonu vzorku (4) o úhel ( $\alpha$ ) a před druhým opracováním odprašované stěny (4.1) vzorku (4) prvním částicovým svazkem se vzorek (4) nakloní kolem osy (3) náklonu vzorku o úhel ( $\beta$ ), přičemž tyto úhly jsou opačně orientované.

5 6. Způsob podle nároku 5, **vyznačující se tím**, že úhly ( $\alpha$ ) a ( $\beta$ ) jsou v absolutní hodnotě stejné.

7. Způsob podle nároku 6, **vyznačující se tím**, že absolutní hodnota úhlů ( $\alpha$ ) a ( $\beta$ ) je  $10^\circ$ .

10 8. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že při plynulé změně náklonu vzorku (4) kolem osy (3) náklonu vzorku (4) za současného odprašování nebo po odprašení v první poloze vzorku, po kterém následuje odprašení ve druhé poloze vzorku, která je oproti první poloze vzorku nakloněná kolem osy (3) náklonu vzorku (4), dojde k přešetění odprašované stěny (4.1) vzorku (4), a tedy k redukci curtaining efektu.

15 9. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že za účelem kompenzace vlivu úhlu sbíhavosti povrchu vytvořeného obráběním vzorku (4) pomocí prvního částicového svazku je úhel ( $\xi$ ) v absolutní hodnotě shodný s absolutní hodnotou tohoto úhlu sbíhavosti, čímž se zajistí obrábění vzorku v požadovaném směru odprašované stěny (4.1).

20 10. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že v závislosti na obrazu odprašované stěny (4.1) vzorku (4) pozorovaném druhým částicovým svazkem se odprašování prvním částicovým svazkem zastaví v přesně zvolené oblasti opracovávaného vzorku (4).

25 11. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že v případě požadavku na získání představy o 3D struktuře vzorku nebo o struktuře umístěné ve větší hloubce pod povrchem vzorku se uvedený postup naklání do dvou poloh kolem osy (3) náklonu vzorku (4) a odprašování v každé z těchto poloh prvním částicovým svazkem za současného nebo ve zvolených intervalech prováděného pozorování pomocí druhého částicového svazku periodicky opakuje nebo se periodicky opakuje odprašování při plynulé změně náklonu vzorku (4) kolem osy (3) náklonu vzorku (4) za současného nebo ve zvolených intervalech prováděného pozorování pomocí druhého částicového svazku, přičemž při každém opakování tohoto cyklu se osa (1) prvního částicového svazku posune o zvolenou velikost směrem do hloubky opracovávaného vzorku (4), a to pohybem samotné osy (1) prvního částicového svazku a/nebo pohybem vzorku (4).

30 12. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že druhý částicový svazek dopadá na odprašovanou stěnu (4.1) vzorku (4) tak, že osa (2) tohoto druhého částicového svazku svírá ve střední poloze rastrování s normálou k rovině proložené odprašovanou stěnou úhel ( $\omega$ ) ležící v rozmezí  $20^\circ$  až  $50^\circ$ , typicky  $35^\circ$ .

35 13. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že osa (1) prvního částicového svazku, osa (2) druhého částicového svazku a osa (3) náklonu vzorku leží v jedné rovině.

40 14. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že první a druhý částicový svazek jsou libovolné kombinace vybrané ze skupiny elektronový svazek, iontový svazek, iontový svazek s kovovými ionty, iontový svazek s plazmovým zdrojem.

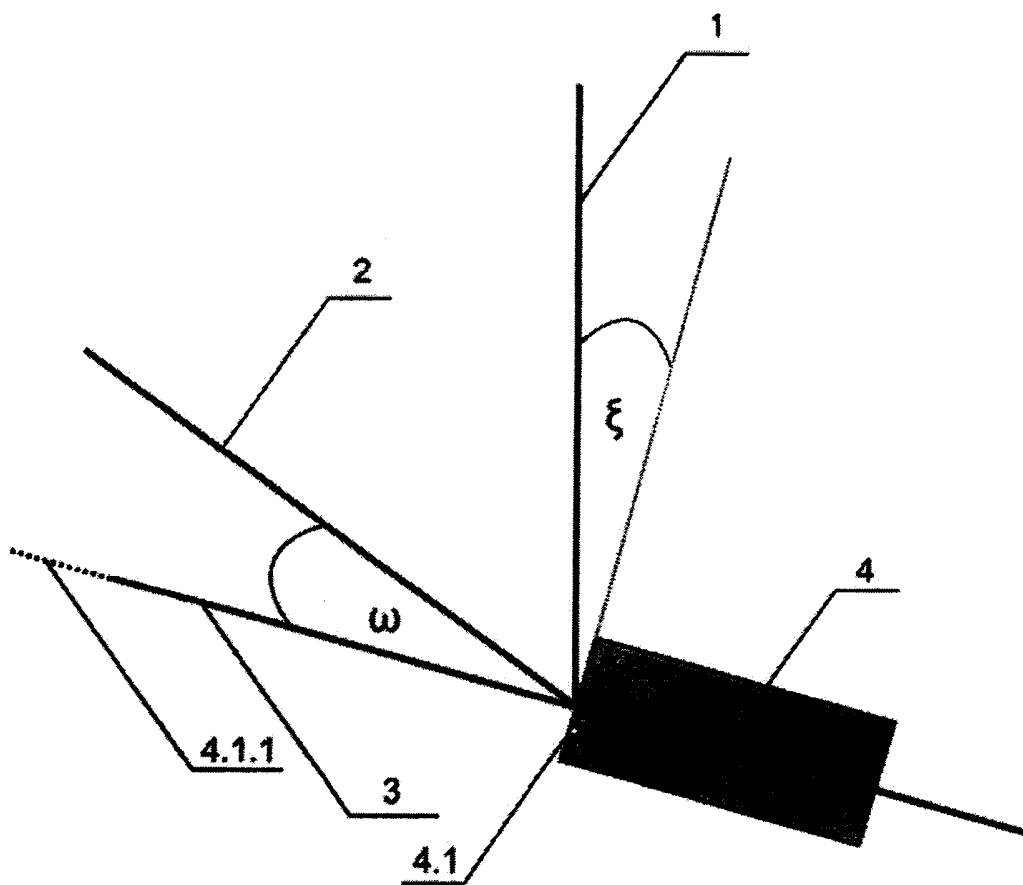
45 15. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že první i druhý částicový svazek jsou fokusované.

16. Způsob podle kteréhokoli z předcházejících nároků, **vyznačující se tím**, že vzorek se naklání a/nebo otáčí ještě kolem první další osy (5) a/nebo kolem druhé další osy (6), přičemž tyto osy (5) a (6) jsou různé od osy (3) náklonu vzorku (4) i od sebe navzájem.
- 5 17. Způsob podle nároku 16, **vyznačující se tím**, že první další osa (5), druhá další osa (6) a osa (3) náklonu vzorku (4) jsou navzájem různoběžné nebo mimoběžné.
18. Způsob podle nároku 16 nebo 17, **vyznačující se tím**, že první další osa (5) a/nebo druhá další osa (6) mají vůči ose (3) náklonu vzorku (4) odchylku  $90^\circ$  nebo blízkou  $90^\circ$ .
- 10 19. Způsob podle kteréhokoli z nároků 16 až 18, **vyznačující se tím**, že první další osa (5) má vůči ose (1) prvního částicového svazku ve střední poloze rastrování odchylku  $0$  až  $30^\circ$  a/nebo osa (1) prvního částicového svazku a/nebo osa (2) druhého částicového svazku mají vůči druhé další ose (6) odchylku  $90^\circ$  nebo blízkou  $90^\circ$ .
- 15 20. Způsob podle kteréhokoli z nároků 1 až 19, **vyznačující se tím**, že vzorek je posuvný ve třech navzájem kolmých směrech.
21. Zařízení k provádění způsobu podle kteréhokoli z nároků 1 až 15, kde toto zařízení obsahuje alespoň dva zdroje částicových svazků, které dále procházejí prvním a druhým tubusem, kde první tubus (8) je osazen prvním elektrickým nebo elektromagnetickým rastrovacím zařízením (8.2) pro vytváření alespoň dvou na sebe přibližně kolmých silových polí (8.2.1, 8.2.2) a druhý tubus (9) je osazen druhým elektrickým nebo elektromagnetickým rastrovacím zařízením (9.2) pro vytváření alespoň dvou na sebe přibližně kolmých silových polí (9.2.1, 9.2.2) a kde jsou osy alespoň dvou těchto tubusů (8, 9) různoběžné nebo mimoběžné, přičemž siločáry silových polí (8.2.1, 8.2.2) mají vůči ose (8.1) tubusu (8) odchylku  $90^\circ$  nebo blízkou  $90^\circ$  a siločáry silových polí (9.2.1, 9.2.2) mají vůči ose (9.1) tubusu (9) odchylku  $90^\circ$  nebo blízkou  $90^\circ$ , a které dále obsahuje první sestavu (7) manipulátorů tvořenou alespoň jedním manipulátorem pro upevnění vzorku (4), která je naklonitelná kolem alespoň jedné osy (3.1), jež je totožná s osou (3) náklonu vzorku (4) připevněného na této první sestavě (7) manipulátorů, **vyznačující se tím**, že osa (3.1) náklonu této první sestavy (7) manipulátorů protíná oblast určenou pro opracovávání vzorek (4) upevněný na této první sestavě (7) manipulátorů, kde tato první sestava (7) manipulátorů je současně umístěna tak, že oblast, v níž se nachází na první sestavě (7) manipulátorů upevněný vzorek (4), prochází také osa (8.1) prvního tubusu (8) a osa (9.1) druhého tubusu (9), přičemž osa (3.1) náklonu první sestavy (7) manipulátorů má odchylku různou od  $90^\circ$  vůči ose (9.1) druhého tubusu (9) a vůči ose (8.1) prvního tubusu (8) má tato osa (3.1) náklonu odchylku ležící v uzavřeném intervalu od  $90^\circ$  do  $60^\circ$ .
- 20 22. Zařízení podle nároku 21, **vyznačující se tím**, že náklon kolem osy (3.1) náklonu první sestavy (7) manipulátorů je plynule nastavitelný alespoň v rozsahu  $+10^\circ$  až  $-10^\circ$ .
- 40 23. Zařízení podle nároku 21 nebo 22, **vyznačující se tím**, že siločáry prvního silového pole (8.2.1) prvního elektromagnetického nebo elektrického rastrovacího zařízení (8.2) mají vůči ose (3.1) náklonu první sestavy (7) manipulátorů odchylku  $90^\circ$  nebo blízkou  $90^\circ$ .
- 45 24. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 21 až 23, **vyznačující se tím**, že siločáry prvního silového pole (9.2.1) druhého elektromagnetického nebo elektrického rastrovacího zařízení (9.2) mají vůči ose (3.1) náklonu první sestavy (7) manipulátorů odchylku v rozmezí  $40^\circ$  až  $70^\circ$ , typicky  $55^\circ$ .
- 50 25. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 21 až 24, **vyznačující se tím**, že osa (3.1) náklonu první sestavy (7) manipulátorů má vůči ose (9.1) druhého tubusu (9) odchylku v rozmezí  $20^\circ$  až  $50^\circ$ , typicky  $35^\circ$ .

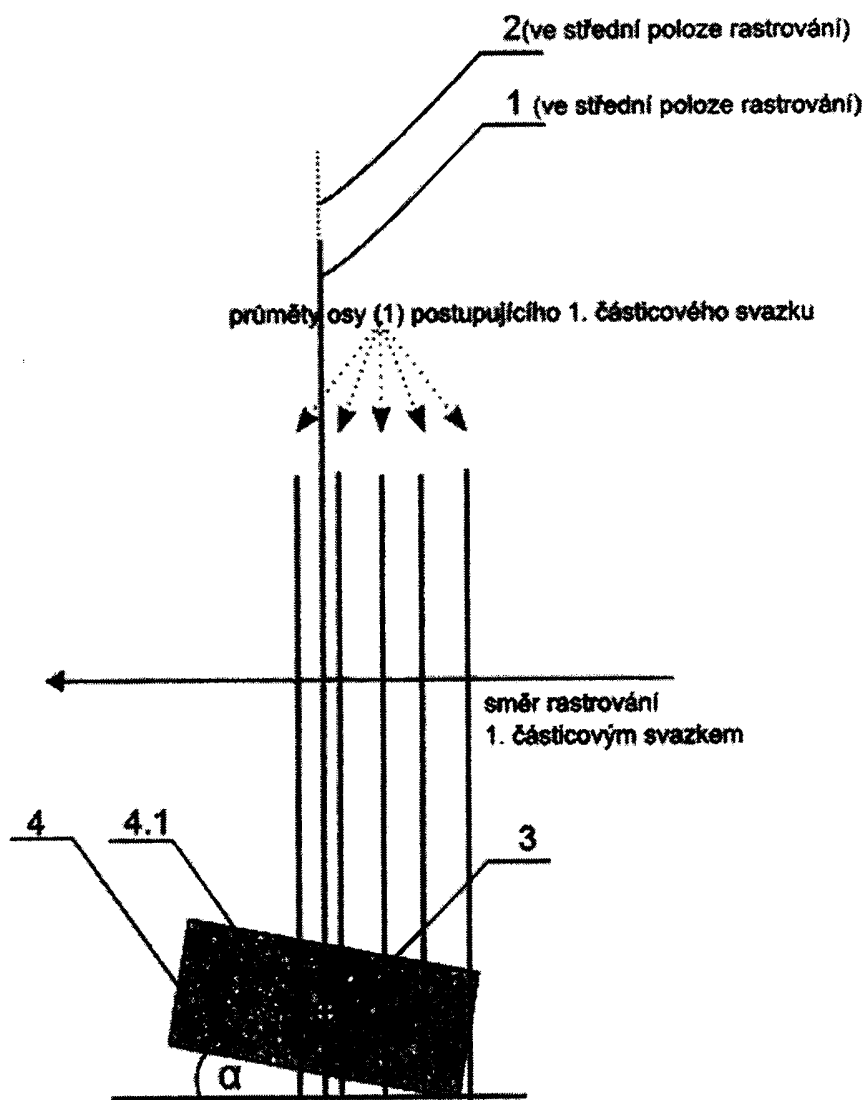
26. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 21 až 25, **vyznačující se tím**, že osa (8.1) prvního tubusu (8) vůči ose (9.1) druhého tubusu (9) odchylku v rozmezí  $40^\circ$  až  $70^\circ$ , typicky  $55^\circ$ .
- 5 27. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 21 až 26, **vyznačující se tím**, že osa (3.1) náklonu první sestavy (7) manipulátorů protíná osu (8.1) prvního tubusu (8) a/nebo osu (9.1) druhého tubusu (9), přičemž průsečík alespoň dvou z os (3.1, 8.1, 9.1) je v oblasti vyhrazené pro opracováváný vzorek (4) upevněný na první sestavě (7) manipulátorů.
- 10 28. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 21 až 27, **vyznačující se tím**, že zdroje prvního a druhého částicového svazku jsou libovolné kombinace vybrané ze skupiny zdrojů elektro-ny, ionty, kovové ionty, plazmový zdroj.
- 15 29. Zařízení podle nároku 28, **vyznačující se tím**, že první tubus (8) i druhý tubus (9) jsou opatřeny prvky pro fokusaci svazku.
- 20 30. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 21 až 29 k provádění způsobu podle nároků 1 až 20, **vyznačující se tím**, že první sestava (7) manipulátorů je upevněna na druhé sestavě (10) manipulátorů tvořené alespoň jedním manipulátorem.
- 25 31. Zařízení podle nároku 30, **vyznačující se tím**, že druhá sestava (10) manipulátorů obsahuje prvky posuvné ve dvou nebo třech navzájem kolmých směrech a/nebo prvky pro náklon a/nebo otočení kolem třetí osy (5.1) a/nebo kolem čtvrté osy (6.1), kde tato třetí osa (5.1) a čtvrtá osa (6.1) jsou různé od osy (3.1) náklonu prvního manipulátoru (7) i od sebe navzájem.
- 30 32. Zařízení podle nároku 31, **vyznačující se tím**, že třetí osa (5.1), čtvrtá osa (6.1) a osa (3.1) náklonu prvního manipulátoru (7) jsou navzájem různoběžné nebo mimoběžné.
- 35 33. Zařízení podle nároku 30 nebo 31, **vyznačující se tím**, že osa (3.1) náklonu prvního manipulátoru má vůči třetí ose (5.1) a/nebo čtvrté ose (6.1) odchylku  $90^\circ$  nebo blízkou  $90^\circ$ .
- 40 34. Zařízení podle kteréhokoli z nároků 30 až 32, **vyznačující se tím**, že osa (8.1) prvního tubusu (8) má vůči třetí ose (5.1) odchylku  $0$  až  $30^\circ$  a/nebo osa (8.1) prvního tubusu (8) a/nebo osa (9.1) druhého tubusu (9) mají vůči čtvrté ose (6.1) odchylku  $90^\circ$  nebo blízkou  $90^\circ$ .

6 výkresů

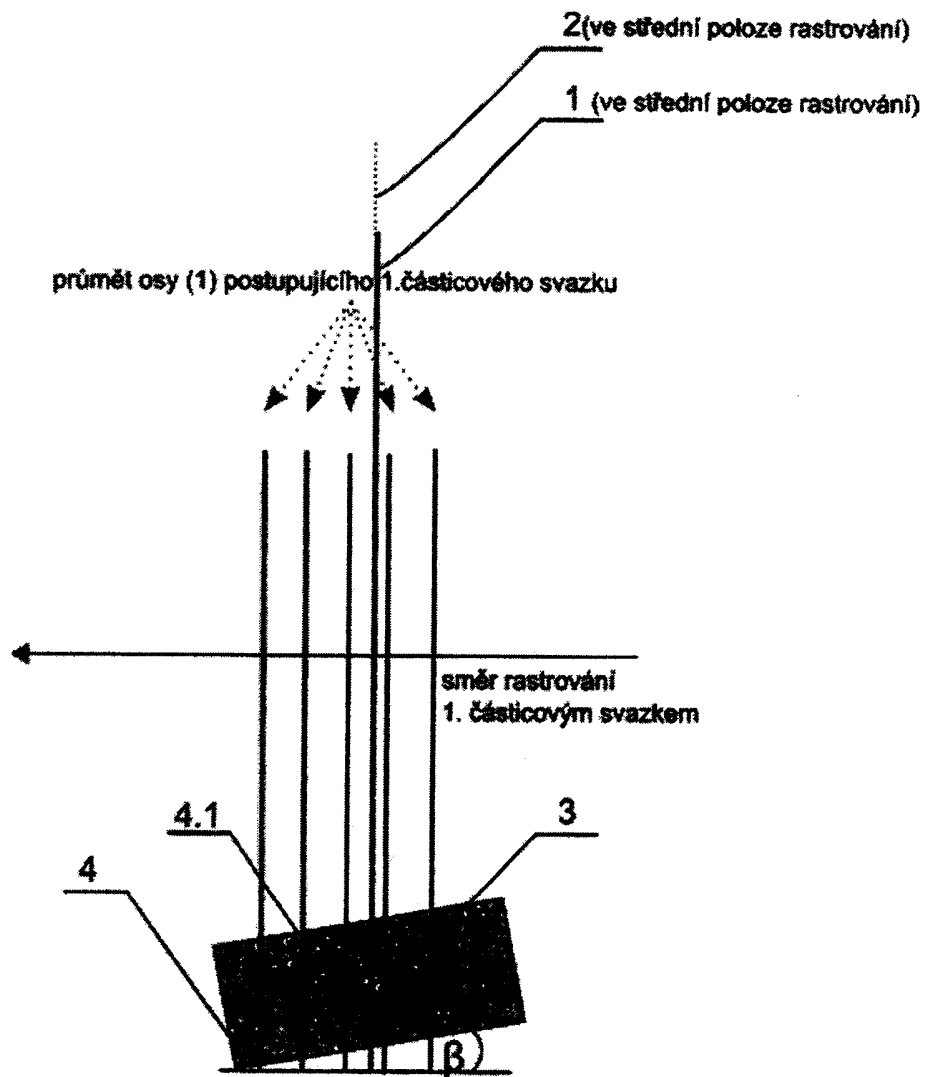
40



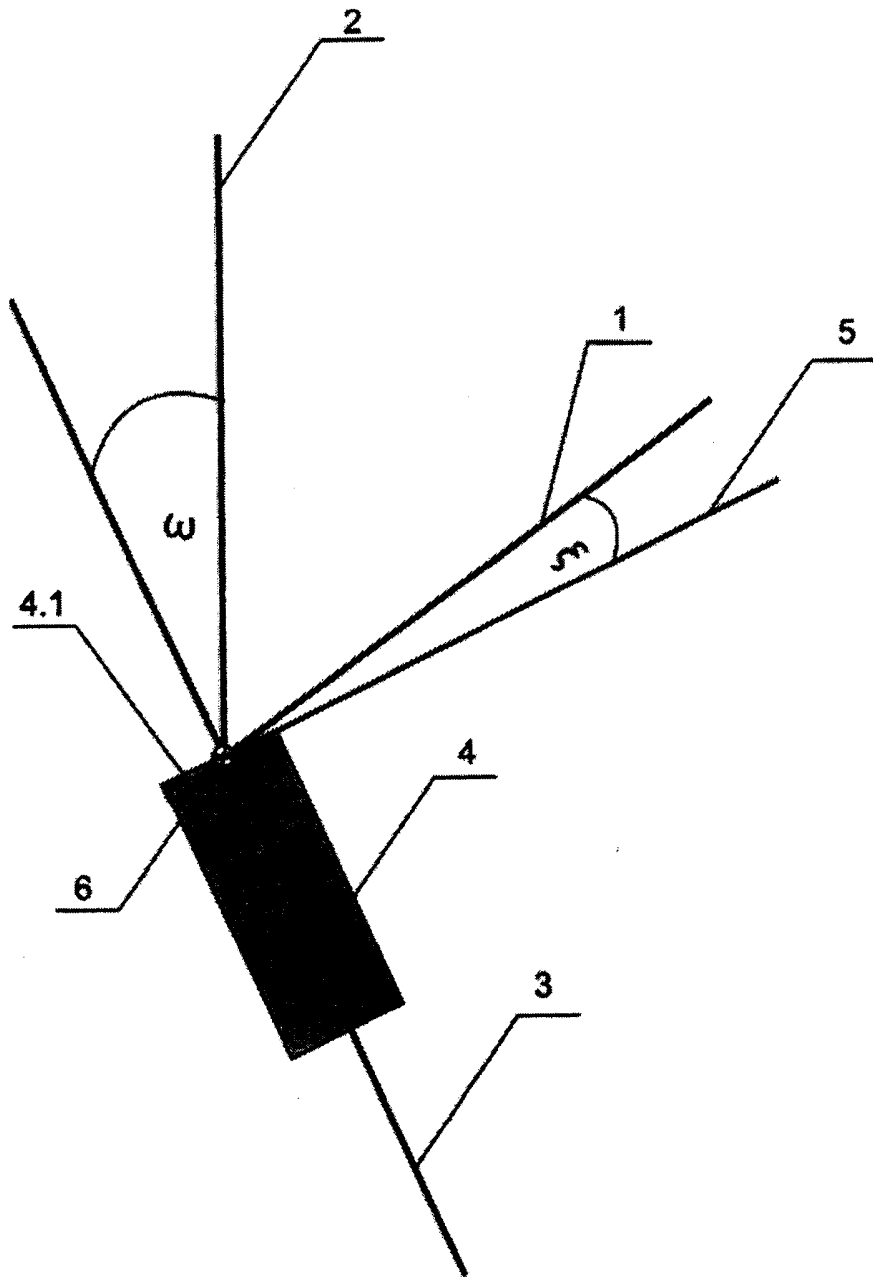
Obr. 1



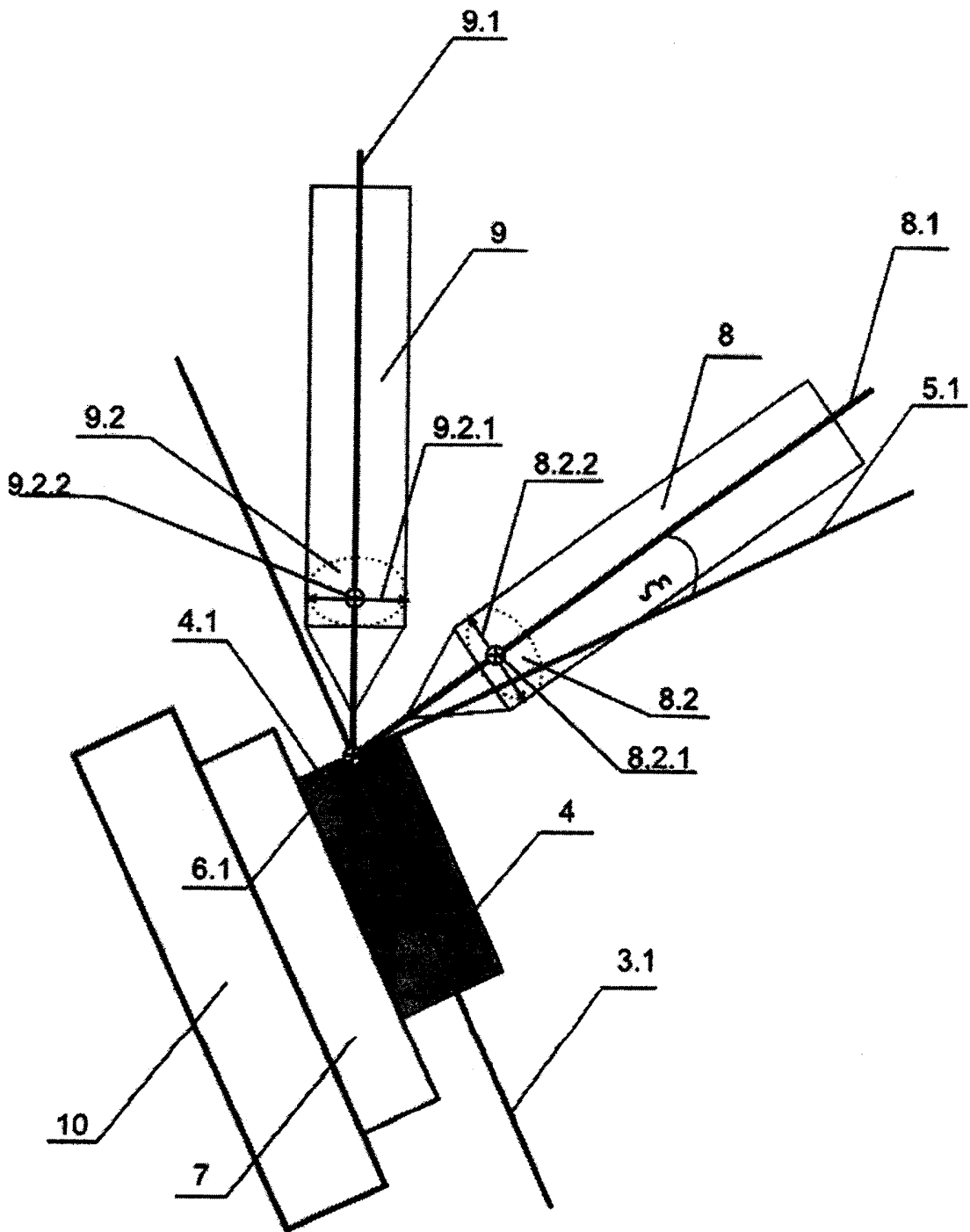
Obr. 2a



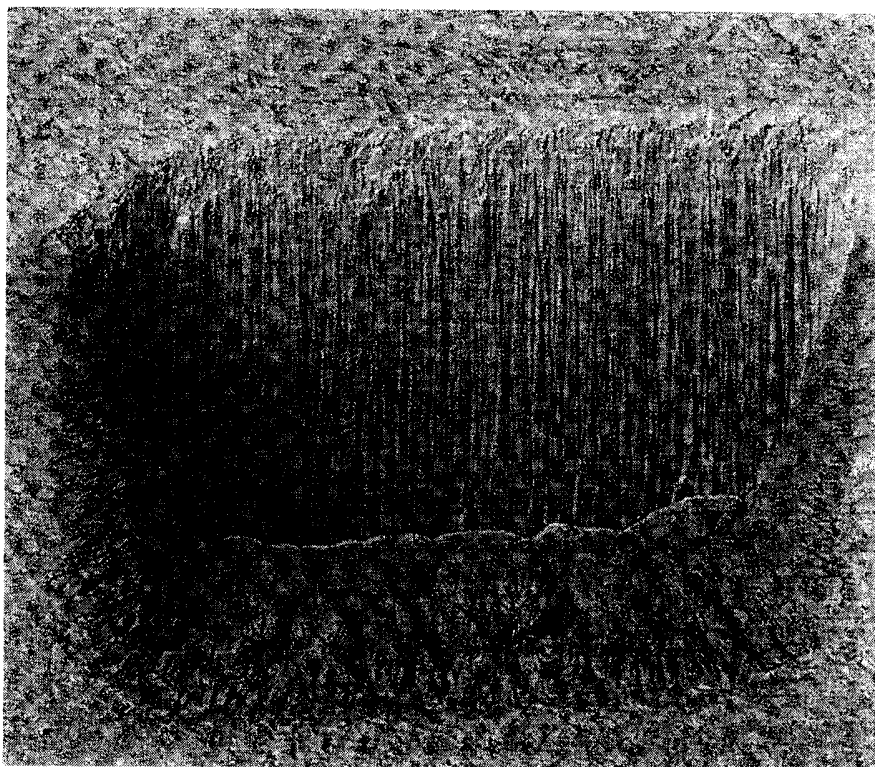
Obr. 2b



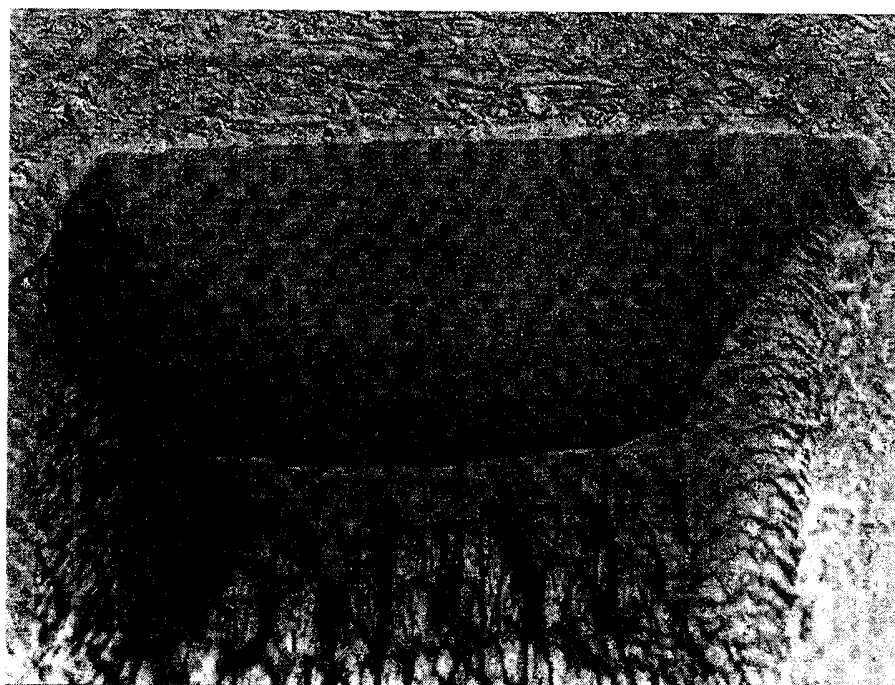
Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5a



Obr. 5b

-----  
Konec dokumentu  
-----