# PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

**zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.**


(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **25.03.2011**
(32) Datum podání prioritní přihlášky: **26.03.2010**
(31) Číslo prioritní přihlášky: **2010-072604**
(33) Země priority: **JP**
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **21.11.2012**
**(Věstník č. 47/2012)**
(86) PCT číslo: **PCT/PCT/JP2011/057273**
(87) PCT číslo zveřejnění: **WO 2011/118744**

(21) Číslo dokumentu:
**2012-568**
(13) Druh dokumentu: **A3**
(51) Int. Cl.:
*H01J 37/244* (2006.01)
*H01J 37/28* (2006.01)
*H01J 37/317* (2006.01)



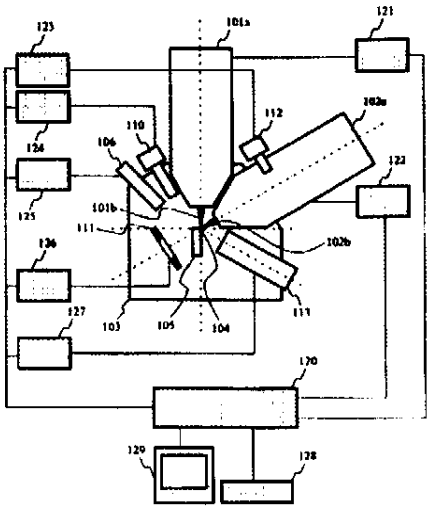
(71) Přihlašovatel:
HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION, Tokyo 1058717, JP

(72) Původce:
Nomaguchi Tsunenori, Hitachinaka-shi, Ibaraki, JP
Agemura Toshihide, Hitachinaka-shi, Ibaraki, JP

(74) Zástupce:
Rott, Růžička & Guttmann Patentové, známkové a advokátní kanceláře, JUDr. Ing. Miloslav Hainz, Vinohradská 37, Praha 2, 12000


(54) Název přihlášky vynálezu:

## Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic



(57) Anotace:


Vynález poskytuje technologii, která dovoluje SEM pozorování v reálném čase bez zhoršení účinnosti FIB zpracování. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic, obsahuje tubus iontového svazku, který vyzařuje iontový svazek, tubus elektronového svazku, který vyzařuje elektronový svazek, vzorkovou komoru, k níž jsou tubus iontového svazku a tubus elektronového svazku připojeny, detektor SE3 terciálních elektronů, který zjišťuje terciální elektrony, které jsou sekundárními elektrony, které se generují při srážkách zpětně odražených elektronů, které se indukují při ozařování vzorku elektronovým svazkem, se strukturami přítomnými uvnitř vzorkové komory a řídicí jednotku, která na základě zjištěných terciálních elektronů generuje obraz a tento obraz zobrazuje na zobrazovací jednotce, přičemž je vzorek současně ozařován iontovým svazkem.



CZ 2012 - 568 A3

17.10.12
2012-568

# Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic

## Oblast techniky

[0001] Vynález se týká přístroje s kompozitním svazkem nabitých částic, zejména technologie pro pozorování vzorku, který je zpracováván iontovým svazkem, pomocí elektronového svazku.

## Dosavadní stav techniky

[0002] V posledních letech se pro vytváření tenkých plátkových vzorků pro (rastrovací) transmisní elektronové mikroskopy ((S)TEM - (Scanning) Transmission Electron Microscope) používají přístroje s fokusovaným iontovým svazkem (FIB - Focused Ion Beam). Zejména když se tenké plátkové vzorky vytvářejí pro analýzu poruch polovodičových zařízení, je v mnoha případech žádoucí FIB zpracování zastavit v určitém řezu. Z tohoto důvodu se běžně používají FIB-SEM přístroje, které umožňují FIB zpracovávaný řez pozorovat s použitím rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM - Scanning Electron Microscope). V těchto přístrojích se k pozorování obrazu jako signálu obecně používá sekundárních elektronů, které odrážejí informace o povrchu a nepravidelnostech na vzorku.

[0003] Ovšem v průběhu ozařování iontovým svazkem tento iontový svazek ze vzorku generuje velké množství sekundárních elektronů, přičemž tyto sekundární elektrony se překrývají se sekundárními elektrony generovanými elektronovým svazkem, jak je popsáno v patentové literatuře 1. Proto lze v průběhu ozařování iontovým svazkem získávat pouze SEM obraz s velmi nízkým poměrem signálu ku šumu (S/N poměrem).

17.10.12

[0004] Mezi příklady způsobů získávání SEM obrazu v průběhu ozařování vzorku iontovým svazkem patří způsob, v němž se jako signály, které tvoří obraz, pozorují zpětně odražené elektrony (back-scattered electrons). Zpětně odražené elektrony mají vyšší energii než sekundární elektrony a při ozařování iontovým svazkem vysokoenergetické elektrony téměř nevznikají. Proto pokud se vybírají a zjišťují zpětně odražené elektrony generované ozařováním elektronovým svazkem, lze pořídit SEM obraz, který není ovlivněn elektrony generovanými ozařováním iontovým svazkem.

[0005] V případě FIB-SEM přístrojů existuje způsob, v němž se jako signály, které tvoří obraz, pozorují elektrony, které vzorkem prošly (transmisní elektrony). Obraz (STEM) obraz vytvořený transmisními elektrony není ovlivněn elektrony generovanými ozařováním iontovým svazkem. Pořizování STEM obrazu je však účelné pouze v případě velmi tenkých vzorků, které většinu dopadajících elektronů propustí.

[0006] Dále, FIB-SEM přístroje mají funkci opakovaného provádění zpracování vzorku ozařováním iontovým svazkem a pozorování vzorku ozařováním elektronovým svazkem, přičemž mezi zpracováním a pozorováním se přepíná.

[0007] V minulých letech byl pro SEM sestrojen detektor (viz například patentovou literaturu 2), který výběrově zjišťuje sekundární elektrony (na které se v této specifikaci odkazuje jako na terciální elektrony (SE3)), které se uvolňují při srážkách zpětně odražených elektronů, které se indukují při ozařování vzorku elektronovým svazkem, se strukturami přítomnými uvnitř vzorkové komory. Stojí za povšimnutí, že terciální elektrony (SE3) jsou v případě, že se použije Everhardt Thornley detektor, který je typickým detektorem sekundárních elektronů, těžko zjistitelné.

Seznam citací

Patentová literatura

[0008]

Patentová literatura 1: JP patentová publikace (Kokai) č. 9-161712 A (1997)

Patentová literatura 2: mezinárodní publikace č. WO 2006/120005

Patentová literatura 3: JP patentová publikace (Kokai) č. 2008-286652 A

Patentová literatura 4: JP patentová publikace (Kokai) č. 2008-034172 A

Patentová literatura 5: JP patentová publikace (Kokai) č. 7-296756 A (1995)

Podstata vynálezu

Technický problém

[0009] Pod vlivem výše uvedených okolností se vynálezci rozhodli věnovat studiu způsobů zpracování vzorků pomocí FIB-SEM přístroje a získali následující poznatky.

[0010] Při výrobě polovodičů i v jiných různých průmyslových odvětvích, jako jsou energetika se svými palivovými články a solárními panely a průmysly pracující s organickými materiály, jako jsou elektro-luminiscenční (EL) zobrazovače, v posledních letech pokročila miniaturizace struktur natolik, že tyto průmyslové obory vyžadují zlepšení ve zpracovacích technologiích pro vzorky určené pro pozorování i analýzu. Například, se začínají používat pokročilá zařízení, která mají vzdálenost uzlů 30 nm nebo menší. Při výrobě plátkových vzorků určených pro (S)TEM je v souvislosti s takovými zařízeními vyžadována přesnost zpracování v řádu nanometrů. Při existenci takového požadavku

17.10.12

je nanejvýš důležité, aby technologie, která významně zdokonalí opakovatelnost zpracování a efektivitu zpracování, prováděla SEM pozorování FIB zpracování v reálném čase a sledovala stav zpracování s dostatečnou přesností nepřetržitě.

[**0011**] Ovšem sekundární elektrony, které jsou nejobvyklejšími signály v SEM, se uvolňují i při ozařování iontovým svazkem. Proto lze současné FIB zpracování a SEM pozorování provádět pouze v případě splnění podmínek, že proudová hodnota elektronového svazku je například desetkrát nebo i vícekrát větší než proudová hodnota iontového svazku a že SEM obraz se získá v krátkém rastrovacím čase. Pokud se proudová hodnota zvětší, zvětší se průměr zaostřeného elektronového svazku, což zhorší rozlišení SEM obrazu. Sledování FIB zpracování s vysokou přesností je tak obtížné. Lze uvažovat rovněž se způsobem, v němž se zmenší proudová hodnota iontového svazku bez zvětšení proudové hodnoty elektronového svazku. Tento způsob však sníží rychlost FIB zpracování a tím způsobí významné zhoršení efektivity zpracování.

[**0012**] Ve FIB-SEM přístroji existuje způsob pozorování, v němž se jako obrazové signály používají zpětně odražené elektrony, které odrážejí informace o materiálu a informace o složení vzorku. Protože zpětně odražené elektrony nejsou uvolňovány ozařováním iontovým svazkem, umožňuje výběrové sledování zpětně odražených elektronů rozlišovat mezi signály odvozenými od ozařování elektronovým svazkem a signály od ozařování iontovým svazkem. FIB zpracování a SEM pozorování tak je možné provádět současně.

[**0013**] Účinnost detektorů zpětně odražených elektronů je však nižší než u detektorů sekundárních elektronů, takže pro získání obrazu s vysokým rozlišením pomocí detektorů

17.10.12

zpětně odražených elektronů je potřeba dlouhých rastrovacích časů. V důsledku tak lze stav zpracování sledovat zjišťováním zpětně odražených elektronů pouze v případě, že rychlost zpracování je velmi malá. To naznačuje, že způsob zahrnující zjišťování zpětně odražených elektronů způsobuje rovněž významné zhoršení efektivity zpracování.

[**0014**] Dále, některé SEM mají detektor rastrovací transmisní elektronové mikroskopie (STEM), který jako obrazové signály zjišťuje elektrony, které vzorkem prošly. STEM detektor je sestaven především z BF (Bright Field - jasné pole) detektoru, který zjišťuje difrakční kontrast krystalu, DF (Dark Field - temné pole) detektoru, který zjišťuje kontrasty materiálového složení a HAADF (High-Angle Annular Dark-Field) detektoru. S pomocí STEM detektoru lze získat krystalovou strukturu uvnitř tenkého plátkového vzorku a informace o složení tenkého plátkového vzorku. Stejně jako u zpětně odražených elektronů není ani STEM signál ovlivňován ozařováním iontovým svazkem, takže STEM obraz lze získávat i v průběhu FIB zpracování.

[**0015**] STEM signál však lze pořizovat pouze v případě velmi tenkých vzorků, jímž většina dopadajících elektronů projde. Proto se podmínky, za nichž lze STEM signál použít ke sledování stavu zpracování, omezují pouze na příklad, v němž je vzorek velmi tenký, takže použití STEM signálu postrádá univerzálnost. Protože STEM signál zahrnuje informace o vnitřku vzorku, je navíc obtížné určovat polohu zastavení zpracování s dostatečnou přesností pouze ze STEM signálu.

[**0016**] Vedle výše uvedených způsobů mezi způsoby sledování stavu zpracování patří také způsoby využívající funkcí FIB-SEM přístroje, jako jsou funkce opakování FIB zpracování a SEM pozorování pomocí přepínání ozařování iontovým svazkem a ozařování elektronovým svazkem.

17.10.12

[0017] Přepínání mezi FIB zpracováním a SEM pozorováním však zabírá čas, což také vede k významnému zhoršení efektivity zpracování.

[0018] Vynález byl sestrojen s ohledem na výše uvedené okolnosti a poskytuje tudíž technologii, která umožňuje SEM pozorování v reálném čase bez zhoršení efektivity FIB zpracování.

Řešení problému

[0019] Aby vynález dosáhl výše uvedeného cíle, má přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle vynálezu FIB tubus a SEM tubus a zahrnuje SE3 detektor, který zjišťuje sekundární elektrony (na které se v této specifikaci odkazuje jako na terciální elektrony), které se uvolňují při srážkách zpětně odražených elektronů, které se generují při ozařování vzorku elektronovým svazkem, se strukturami přítomnými uvnitř vzorkové komory. SEM obraz je generován s použitím terciálních elektronů a na základě SEM obrazu lze pozorovat stav zpracování iontovým svazkem.

[0020] Řídicí jednotka (integrovaný počítač) může obraz (SEM obraz) generovat na základě terciálních elektronů a obraz může zobrazovat na zobrazovací jednotce při současném ozařování vzorku iontovým svazkem.

[0021] Řídicí jednotka může rovněž generovat obraz založený na zjištěných terciálních elektronech za současného řízení časování rastrovacích signálů iontového svazku a rastrovacích signálů elektronového svazku a může ozařování iontovým svazkem a zobrazování obrazu založeného na terciálních elektronech řídit podle tohoto časování.

17.10.12

[0022] Navíc, když je vzorek při ozařování iontovým svazkem postřikován plynem, aby na vzorku vznikla depozitní vrstva, může být vzorek současně ozařován elektronovým svazkem a SEM obraz vytvářený z terciálních elektronů může být zobrazován na zobrazovací jednotce.

[0023] Další charakteristiky vynálezu budou zřejmé z následujícího popisu provedení a doprovodných výkresů.

## Výhodné účinky vynálezu

[0024] Podle vynálezu lze provádět SEM pozorování v reálném čase bez zhoršení efektivity FIB zpracování.

## Přehled obrázků na výkresech

[0025]

Na obr. 1 je pohled ukazující schematickou strukturu přístroje s kompozitním svazkem nabitých částic podle prvního provedení vynálezu.

Na obr. 2 je pohled ukazující detaily okolo průsečíku v přístroji s kompozitním svazkem nabitých částic, který je ukázán na obr. 1.

Na obr. 3 je schematický pohled ukazující strukturu vrchního konce SE3 detektoru.

Na obr. 4 je pohled ukazující příklad dat třírozměrně strukturovaného obrazu.

Na obr. 5 je vývojový diagram pro vysvětlení způsobu rastrování fokusovaným iontovým svazkem a elektronovým svazkem v prvním provedení.

17.10.12

Na obr. 6 je schematický pohled ukazující způsob rastrování fokusovaným iontovým svazkem a elektronovým svazkem v prvním provedení.

Na obr. 7 je pohled pro vysvětlení funkce ke změně podmínek FIB zpracování při pozorování SEM obrazu.

Na obr. 8 je pohled ukazující schematickou strukturu přístroje s kompozitním svazkem nabitých částic, který má generovací sekci opravného magnetického pole, podle druhého provedení vynálezu.

Příklady provedení vynálezu

[0026] Dále budou s odkazy na doprovodné výkresy popsána provedení vynálezu. Rozumí se, že popsaná provedení jsou pouze ilustrací možných implementací vynálezu a nejsou zamýšlena k omezování technického rozsahu vynálezu. Stejné prvky jsou na všech výkresech označeny stejnými vztahovými značkami.

První provedení

<Struktura přístroje s kompozitním svazkem nabitých částic>

[0027] Na obr. 1 je pohled ukazující schematickou strukturu přístroje s kompozitním svazkem nabitých částic podle prvního provedení vynálezu. Přístrojem 100 s kompozitním svazkem nabitých částic, který je ukázán na obr. 1, je FIB-SEM přístroj.

[0028] Jak je ukázáno na obr. 1, přístroj 100 s kompozitním svazkem nabitých částic zahrnuje FIB tubus 101a, SEM tubus 102a, vzorkovou komoru 103 a detektory umístěné ve vzorkové komoře 103, včetně detektoru 106 terciálních detektorů (nazývaného rovněž SE3 detektorem a zahrnujícího

17.10.12

kompozitní detektor nabitých částic schopný zjišťovat nejen terciální elektrony, ale i sekundární elektrony a sekundární ionty), detektoru 110 sekundárních elektronů, detektoru 111 transmisních elektronů, detektoru 112 zpětně odražených elektronů a detektoru 113 elektronů odražených zpět s malou ztrátou energie. Přístroj 100 s kompozitním svazkem nabitých částic zahrnuje také integrovaný počítač 120 pro řízení činnosti celého přístroje, řadič 121 rastrování iontového svazku pro řízení rastrování iontového svazku z FIB tubusu 101a, řadič 122 rastrování elektronového svazku pro řízení rastrování elektronového svazku z SEM tubusu 102a. Přístroj 100 s kompozitním svazkem nabitých částic dále zahrnuje řadič 123 detektoru zpětně odražených elektronů pro poskytování informací o zjištěných zpětně odražených elektronech integrovanému počítači 120, řadič 124 detektoru sekundárních elektronů pro poskytování informací o zjištěných sekundárních elektronech integrovanému počítači 120, řadič 125 detektoru terciálních elektronů pro poskytování informací o zjištěných terciálních elektronech integrovanému počítači 120, řadič 126 detektoru transmisních elektronů pro poskytování informací o zjištěných transmisních elektronech integrovanému počítači 120, řadič 127 detektoru elektronů odražených zpět s malou ztrátou energie pro poskytování informací o zjištěných elektronech odražených zpět s malou ztrátou energie integrovanému počítači 120, ovládací sekci (jako je klávesnice a myš) 128 pro zadávání vstupů týkajících se podmínek ozařování, podmínek detekce, různých instrukcí, apod. obsluhou přístroje a zobrazovač 129 pro zobrazování FIB obrazů a EM obrazů generovaných na základě každého zjištěného elektronu.

[0029] FIB tubusem 101a je systém zahrnující všechny součásti potřebné pro FIB, jako jsou iontový zdroj, který generuje iontový svazek, čočky, které iontový svazek zaostřují, a odkláněcí systém, který iontový svazek rastruje

17.10.12

a posouvá. Podobně, SEM tubusem 102a je systém zahrnující všechny součásti potřebné pro SEM, jako jsou elektronový zdroj, který generuje elektronový svazek, čočky, které elektronový svazek zaostřují, a odkláněcí systém, který elektronový svazek rastruje a posouvá. FIB tubus 101a a SEM tubus 102a jsou uloženy ve vzorkové komoře 103. Iontový svazek 101b, který prochází FIB tubusem 101a, a elektronový svazek 102b, který prochází SEM tubusem 102a, se protínají v jednom bodě ve vzorku 105, který se nazývá průsečíkem 104. Ačkoliv se jako iontový svazek 101b běžně používá gallium, lze pro účely zpracování použít jakýkoliv druh iontů. Iontový svazek se neomezuje pouze na fokusovaný iontový svazek, může se použít i široký iontový svazek.

**[0030]** SE3 detektor 106 (první detektor) zjišťuje terciální elektrony (nazývané také SE3), které jsou sekundárními elektrony generovanými při srážkách zpětně odražených elektronů, které se indukují při ozařování vzorku 105 elektronovým svazkem, se strukturami uvnitř vzorkové komory 103.

**[0031]** Detektor 113 elektronů odražených zpět s malou ztrátou energie zjišťuje zpětně odražené elektrony, které mají energetickou úroveň téměř rovnou energetické úrovni dopadajících elektronů.

**[0032]** Ačkoliv je v provedení FIB tubus 101a umístěn svisle a SEM tubus 102a je umístěn šikmo, konfigurace se jen na toto uspořádání neomezuje. FIB tubus 101a může být umístěn šikmo a SEM tubus 102a může být umístěn svisle, případně mohou být jak FIB tubus 101a, tak SEM tubus 102a umístěny šikmo. Přístroj 100 s kompozitním svazkem nabitých částic může mít i třítubusovou strukturu s tubusem Ga fokusovaného iontového svazku, tubusem Ar fokusovaného iontového svazku a tubusem elektronového svazku.

17.10.12

[0033] Jak je ukázáno na obr. 1, vedle SE3 detektoru 106, který je prvním detektorem, jak bylo zmíněno výše, jsou ve vzorkové komoře 103 jako druhý až pátý detektor uloženy detektor 110 sekundárních elektronů (který zjišťuje elektrony s nízkou energií 0 až 50 eV), STEM detektor 111, detektor 112 zpětně odražených elektronů (který zjišťuje vysokoenergetické elektrony s 50 eV a více) a detektor 113 elektronů odražených zpět s nízkou ztrátou energie. Může se však použít i RTG detektor a detektor sekundárních iontů.

[0034] Dále, navíc k výše popsaným součástem se ve vzorkové komoře 103 nacházejí i součásti další, jako jsou vzorková platforma, jednotka depozitního plynu a mikrovzorkovací jednotka. Na vzorkovou platformu pro přemísťování vzorku 105 lze uložit vzorek 105 a vzorková platforma se může pohybovat vodorovně i se může natáčet. Vzorková platforma rovněž může přemísťovat tu část vzorku 105, která se má zpracovat iontovým svazkem a být pozorována, do polohy ozařování iontovým svazkem a také tuto část přemísťovat do polohy pozorování pomocí elektronového svazku.

[0035] Je třeba poznamenat, že vzorkem 105 může být polovodičový vzorek nebo ocel, lehký kov, vysokomolekulární polymer apod. Jednotka depozitního plynu slouží při vytváření ochranných povlaků a značek, může uchovávat depozitní plyn, z něhož se při ozařování svazkem nabitých částic vytváří depozitní vrstva, a může depozitní plyn dodávat podle potřeby z ústí trysky. Mikrovzorkovací jednotka, která společně s FIB zpracováním a odřezáváním vzorku slouží k výběru určitého místa vzorku, zahrnuje sondu, kterou může uvnitř vzorkové komory 103 pohybovat hnací sekce sondy (není ukázána). Sonda slouží k extrakci mikroskopických zkušebních dílů vytvořených ze vzorku a k přívodu elektrického potenciálu na vzorek, pokud se povrchu vzorku dotýká.

[0036] Dále, FIB tubus 101a a SEM tubus 102a mají nezávislé řídicí obvody, jak je popsáno výše, takže rastrovací pole a rastrovací čas každého svazku lze řídit nezávisle. Každý z detektorů má řídicí obvod a má také obvod nebo sekci aritmetického zpracování pro provádění aritmetického zpracování detekčních signálů z příslušných detektorů tak, aby se z nich mohl vytvořit obraz. Každý z detektorů má také jeden nebo více zobrazovačů pro zobrazování získaných obrazů. Rovněž hnací mechanismy pro vzorkovou platformu, depozitní jednotku a mikrovzorkovou jednotku mají své vlastní řídicí obvody. Tyto řídicí obvody spolu mohou navzájem komunikovat a jsou integrálně řízeny jedním nebo více počítači.

[0037] Na obr. 2 je zvětšený schematický pohled ukazující oblast okolo průsečíku 104, který je ukázán na obr. 1. Jak je ukázáno na výkrese, SE3 jsou sekundárními elektrony 202, které se uvolňují při srážkách zpětně odražených elektronů 201, které se indukují při ozařování vzorku 105 elektronovým svazkem 102b, se strukturami, jakými jsou FIB tubus 101a a SEM tubus 102a, přítomnými uvnitř vzorkové komory. Jako SE3 detektor 106 lze použít kompozitní detektor nabitých částic, který bude výběrově zjišťovat nejen SE3, nýbrž i sekundární elektrony a sekundární ionty.

[0038] Na obr. 3 je schematický pohled ukazující oblast okolo vrchního konce SE3 detektoru 106, který je příkladem detektoru schopného zjišťovat SE3 a sekundární elektrony. Jak je ukázáno na obr. 3, SE3 detektor má na svém vrchním konci sběrnou mřížku 307 SE3 (zhotovenou z elektrody), která nastavuje (řídí) detekční účinnost pro SE3, a přední mřížku (zhotovenou z elektrody) 308, která nastavuje (řídí) detekční účinnost pro sekundární elektrony generované ze vzorku 105. Na tyto dvě mřížky proto lze přivádět různá

17.10.12

napětí. Detekční účinnost pro SE3 lze nastavovat napětím přivedeným na sběrnou mřížku 307 SE3 a detekční účinnost pro sekundární elektrony lze nastavovat napětím přivedeným na přední mřížku 308. Ve výsledku je tak možné implementovat SE3 detektor 106, který může výběrově zjišťovat SE3.

<Technické účinky SE3 detektoru>

[0039] Účinky, kterých se dosáhne použitím SE3 detektoru 106 v přístroji 100 s kompozitním svazkem nabitých částic, který má výše popsanou strukturu a který může vyzařovat jak iontový svazek, tak elektronový svazek, jsou ukázány dále.

[0040] Terciální elektrony (SE3) se vyznačují tím, že nejsou generovány ozařováním iontovým svazkem, a tím, že účinnost jejich detekce je významně větší než u zpětně odražených elektronů. Velikost proudu iontového svazku a velikost proudu elektronového svazku se proto mohou nastavovat samostatně. Konkrétněji, použití SE3 detektoru umožňuje splnit obecné podmínky FIB zpracování a obecné podmínky SEM pozorování současně, čehož lze dosáhnout při použití pouze detektoru sekundárních elektronů jako detektoru ve FIB-SEM přístroji pouze obtížné.

[0041] SE3 detektor rovněž umožňuje provádět SEM pozorování v průběhu zpracování pomocí iontového svazku s vysokým proudem a pozorovat FIB zpracování ve vysokém rozlišení i při použití elektronového svazku s nízkým proudem. To umožňuje implementaci vysoce přesného FIB zpracování s dostatečnou opakovatelností a efektivitou. Pokud se struktury uvnitř vzorkové komory, například povrch objektivových čoček FIB tubusu a povrch objektivových čoček SEM tubusu potáhnou látkou, jako je zlato nebo platina, které indukují uvolňování sekundárních elektronů, uvolňuje se velký

17.10.12

počet SE3 a lze získávat obrazy s velkým podílem signálu ku šumu.

[0042] Ve FIB-SEM přístroji lze informace o struktuře v hloubkovém směru vzorku získávat opakováním operací odřezávání vzorku v příčných řezech nebo na horní ploše pomocí FIB a pozorování pomocí SEM (FIB zpracování a SEM pozorování se opakují střídavě, přičemž se mezi nimi přepíná). Obrazy získané touto funkcí (dále nazývanou M&M (Mill and Monitor) funkcí) k opakování FIB zpracování a SEM pozorování, která je vlastností FIB-SEM přístroje, se sestaví do třírozměrného obrazu, buď s intervaly odpovídajícími SEM pozorováním příčných průřezů (nebo SEM pozorovaných koncových ploch) nebo s danými intervaly. Pokud se tato funkce použije, poskytuje provádění SEM pozorování s vysokým rozlišením pomocí SE3 detektoru při současně probíhajícím FIB zpracování velkou výhodu. Použití SEM pozorování s vysokým rozlišením v průběhu FIB zpracování odstraňuje dobu potřebnou k přepínání mezi FIB zpracováním a SEM pozorováním, takže doba potřebná k nashromáždění obrazových dat, která se sestavují do třírozměrné konstrukce, se významně zkrátí. Například, když se dynamický snímek snímá v průběhu FIB zpracování za podmínek, že rychlost FIB zpracování je 2 nm/s, rámcová rychlost SEM obrazu je 1 sekunda a rozlišení je 512 x 512 pixelů, lze informace o třírozměrné struktuře vzorku s tloušťkou 1 mm získat pouze v 10 minutách.

[0043] Pokud se mají informace o třírozměrné struktuře vzorku získat pomocí Mill & Monitor funkce, trvá to asi 2 hodiny i v případě, že se obraz sestavuje s intervaly 10 nm. Tak velký rozdíl v časech je způsoben tím, že každé přepnutí mezi FIB a SEM zabere několik desítek sekund (např. 40 sekund), což v součtu za množství zpracovacích kroků dává obrovskou dobu.

[0044] Ve třírozměrně uspořádaných datech lze, jak je ukázáno na obr. 4, provést řez ve směru vodorovné roviny. Proto v případě použití vzorku, který má stejnou strukturu jako třírozměrně uspořádaná data, lze porovnáním získaného SEM obrazu vzorku s daty přesněji identifikovat polohu aktuálního zpracování. Data jsou užitečná rovněž při specifikaci polohy zastavení zpracování. Například, obraz řezu v poloze, v níž se má zpracování zastavit, získaný z informací o třírozměrné struktuře se může porovnávat se SEM obrazem získaným v průběhu FIB zpracování, takže polohu zastavení zpracování lze zjišťovat automaticky a FIB zpracování může být rovněž automaticky ukončeno. Je třeba poznamenat, že funkci automatického zjišťování polohy zastavení zpracování a automatického ukončování FIB zpracování lze implementovat pouze v případě, že je struktura řezu v poloze zastavení zpracování známa.

[0045] Navíc, použití SE3 detektoru umožňuje provádět SEM pozorování i v případě, že se pomocí ozařování iontovým svazkem vytváří depozitní vrstva. Proto lze polohu, v níž se depozitní vrstva vytváří, a množství depozitu sledovat s dostatečnou přesností. Ačkoliv to není na obr. 1 ukázáno, plynová tryska, která postřikuje vzorek 105 plynem, aby se vytvořila depozitní vrstva, je umístěna ve vzorkové komoře 103. SE3 detektor 106 zjišťuje sekundární elektrony (SE3), které se uvolňují při srážkách zpětně odražených elektronů, které se indukují při ozařování vzorku 105 elektronovým svazkem, se strukturami přítomnými uvnitř vzorkové komory 103, a na základě zjištěných elektronů generuje obraz. Tedy, pozorování pomocí elektronového svazku lze provádět i při vytváření depozitní vrstvy pomocí iontového svazku.

[0046] Pokud se současně zjišťují i jiné detekční signály, které dovolují pozorování v průběhu FIB zpracování, lze získat informace s větší diverzitou. Například, když se

SEM pozorování provádí pomocí vysokoenergetického elektronového svazku, pronikají elektrony dovnitř vzorku. Proto pokud by se použil pouze SE3 signál, byla by přesnost určování polohy zpracovávaného řezu zhoršená. Pokud se však současně s SE3 zjišťují také elektrony odražené zpět s malou ztrátou energie, které odrážejí informace o materiálu a složení na povrchu vzorku, lze polohu zpracovávaného řezu určovat s dostatečnou přesností i v případě použití vysokoenergetického elektronového svazku.

[0047] Navíc, když se STEM signály a SE3 získávají současně, lze z STEM signálů vytvářet informace o vnitřku vzorku a informace o tloušťce vzorku, zatímco z SE3 lze vytvářet informace o struktuře ve zpracovávaném řezu. Proto je možné při pozorování obrazu generovaného na základě obou informací určit polohu zastavení zpracování. Ve výsledku se tím zlepší opakovatelnost a přesnost zpracování.

[0048] Obraz získaný každým detektorem se může zobrazovat na jedné nebo více zobrazovacích jednotkách současně.

[0049] Dále, SE3 detektor 106 by měl být výhodně umístěn ve směru kolmém k FIB zpracovávanému řezu. Obecně platí, že zpracovávaný řez směřuje do směru ozařování elektronovým svazkem, což umožňuje SEM pozorování. Proto by měl být SE3 detektor 106 přednostně umístěn v rovině kolmé k rovině, která zahrnuje osu dopadajícího elektronového svazku a osu dopadajícího iontového svazku. Důvodem je to, že v některých případech může napětí přiváděné na SE3 sběrnou mřížku 307 nebo přední mřížku 308 působit na iontový svazek jako přitahovací nebo odpuzovací síla. V takovém případě se přesnost zpracování uvnitř instalační roviny SE3 detektoru 106 významně zhorší, ale přesnost zpracování ve směru kolmém k instalační rovině SE3 detektoru 106 zůstane téměř

17.10.12

neovlivněna. Proto je výhodné umístit SE3 detektor 106 ve směru kolmém ke zpracovávaném řezu, v němž je přesnost zpracování nejdůležitější.

<Současné provádění FIB zpracování a SEM pozorování>

[0050] Nyní bude popsáno zpracování, v němž se FIB zpracování a SEM pozorování provádějí současně, přičemž rastrovací signály fokusovaného iontového svazku a rastrovací signály elektronového svazku jsou synchronizované.

[0051] Pro provedení zpracování musí být jako druhý detektor k získání obrazu rastrovacího iontového mikroskopu nainstalován detektor 110 sekundárních elektronů. Je třeba poznamenat, že namísto detektoru 110 sekundárních elektronů může být nainstalován detektor sekundárních iontů.

[0052] V tomto zpracování se nejprve poloha ozařování fokusovaným iontovým svazkem vyrovná s polohou ozařování elektronovým svazkem, přičemž oba svazky rastrují stejnou rychlostí. Když je rastrovací pole jednoho svazku užší, tak se svazek s užším rastrovacím polem v části vzorku nebo vně vzorku pozastaví a oběma svazky se současně rastruje pouze oblast, v níž s rastrovací pole obou svazků překrývají. Například, když je rastrovací pole iontového svazku užší než rastrovací pole elektronového svazku, rastruje elektronový svazek normálně, zatímco iontový svazek rastruje pouze ta místa, v nichž jeho rastrovací poloha splývá s rastrovací polohou elektronového svazku.

[0053] Na obr. 5 je vývojový diagram pro vysvětlení současného zpracování pomocí FIB zpracování a SEM pozorování. Na obr. 6 je koncepční pohled ukazující příklad stavů v současném zpracování pomocí FIB zpracování a SEM pozorování.

[0054] Nejprve, na obr. 5, integrovaný počítač 120 porovná SEM a FIB rastrovací pole, která se zadají například prostřednictvím ovládací sekce 128 (krok S101). Pokud je SEM rastrovací pole rovné nebo větší než FIB rastrovací pole, přejde zpracování ke kroku S102, zatímco pokud je SEM rastrovací pole menší než FIB rastrovací pole, přejde zpracování ke kroku S105. Dále integrovaný počítač 120 určí, zda je SEM rastrovací pole shodné s FIB rastrovacím polem (krok S102). Pokud je SEM rastrovací pole větší než FIB rastrovací pole, zpracování přejde ke kroku S103, zatímco pokud jsou rastrovací pole shodná, přejde zpracování ke kroku S104.

[0055] V kroku S103 integrovaný počítač 120 přes řadič 121 rastrování iontového svazku pozastaví FIB rastrovací operaci a řídí rastrování iontového svazku a elektronového svazku tak, aby se zahájila operace SEM rastrování. Pokud integrovaný počítač 120 přijme příkaz k zastavení rastrování, integrovaný počítač 120 zpracování zastaví. Pokud ne, integrovaný počítač 120 předá zpracování ke kroku S107 (krok S106). V kroku S107 integrovaný počítač 120 určí, zda je SEM rastrovací poloha zahrnuta ve FIB rastrovací poloze. Pokud SEM rastrovací poloha zahrnuta není, operace SEM rastrování pokračuje a zpracování se vrátí opět do kroku S106.

[0056] Pokud je SEM rastrovací poloha zahrnuta ve FIB rastrovacím poli, integrovaný počítač 120 zahájí FIB rastrování (krok S108). Pokud integrovaný počítač 120 přijme příkaz k zastavení rastrování, integrovaný počítač 120 zpracování zastaví. Pokud ne, integrovaný počítač 120 předá zpracování ke kroku S110 (krok S109). V kroku S110 integrovaný počítač 120 určí, zda je SEM rastrovací poloha mimo FIB rastrovací pole. Pokud se určí, že SEM rastrovací poloha je mimo FIB rastrovací pole, integrovaný počítač 120

17.10.12

zastaví operaci FIB rastrování a zpracování přejde ke kroku S106. Pokud je SEM rastrovací poloha ještě ve FIB rastrovacím poli, integrovaný počítač 120 předá zpracování ke kroku S109, takže obě operace FIB rastrování a SEM rastrování pokračují dále.

[0057] Pokud jsou SEM rastrovací pole a FIB rastrovací pole v kroku S102 shodná, integrovaný počítač 120 zahájí operaci FIB rastrování a operaci SEM rastrování (krok S104). Pokud integrovaný počítač 120 přijme příkaz k zastavení rastrování, integrovaný počítač 120 zpracování zastaví. Pokud ne, integrovaný počítač 120 pokračuje v obou rastrovacích operacích (krok S112).

[0058] Pokud se v kroku S101 určí, že SEM rastrovací pole je menší než FIB rastrovací pole, integrovaný počítač 120 řídí přístroj tak, aby se operace FIB rastrování zahájila a operace SEM rastrování se pozastavila (krok S105). Pokud integrovaný počítač 120 přijme příkaz k zastavení rastrování, integrovaný počítač 120 zpracování zastaví. Pokud ne, integrovaný počítač 120 předá zpracování ke kroku S114 (krok S113). V kroku S114 integrovaný počítač 120 určí, zda je FIB rastrovací poloha zahrnuta v SEM rastrovacím poli. Pokud se určí, že FIB rastrovací poloha v SEM rastrovacím poli zahrnuta není, pokračuje integrální počítač 120 pouze s FIB rastrováním. Pokud se určí, že FIB rastrovací poloha v SEM rastrovacím poli zahrnuta je, tak integrovaný počítač 120 předá zpracování ke kroku S115 a řídí přístroj tak, aby se zahájila operace SEM rastrování.

[0059] Dále, pokud integrovaný počítač 120 přijme příkaz k zastavení rastrování, integrovaný počítač 120 zpracování zastaví. Pokud ne, integrovaný počítač 120 předá zpracování ke kroku S117 (krok S116). V kroku S117 integrovaný počítač 120 určí, zda je FIB rastrovací poloha

mimo SEM rastrovací pole. Pokud se určí, že FIB rastrovací poloha je mimo SEM rastrovací pole, integrovaný počítač 120 zastaví operaci SEM rastrování a zpracování předá ke kroku S113. Pokud je FIB rastrovací poloha ještě v SEM rastrovacím poli, integrovaný počítač 120 předá zpracování ke kroku S116, takže operace FIB rastrování a SEM rastrování pokračují dále.

[0060] V tomto zpracování je fáze, v níž je jeden svazek v pozastaveném stavu, definována jako fáze A a fáze, v níž oba svazky současně rastrují stejnou polohu, je definována jako fáze B. Fáze A zahrnuje kroky S106, S107, S113 a S114, zatímco fáze B zahrnuje kroky S109, S110, S112, S116 a S117.

[0061] Dále bude pro snadnější pochopení činnost podle vývojového diagramu na obr. 5 vysvětlena s odkazy na obr. 6. Jak je ukázáno na obr. 6(a), nejprve povrch vzorku 405 rastruje pouze elektronový svazek 402b. Iontový svazek je přitom pozastaven v poloze mimo vzorek, takže vzorek jím ozařován není. Tento stav představuje stav fáze A dle obr. 5. Když rastrovací poloha elektronového svazku 402b dosáhne oblasti, která se překrývá s rastrovacím polem 406 iontového svazku, začne iontový svazek 401b vzorek rastrovat stejnou rychlostí jako elektronový svazek, jak je ukázáno na obr. 6(b). Tento stav představuje stav fáze B dle obr. 5. Když rastrovací poloha elektronového svazku 402b dosáhne polohy vně rastrovacího pole 406 iontového svazku, iontový svazek se pozastaví v poloze mimo vzorek a vzorek dále rastruje pouze elektronový svazek 402b, jak je ukázáno na obr. 6(c). Tento stav představuje stav poté, co se zpracování vrátilo do fáze A dle obr. 5. Když rastrovací poloha elektronového svazku 402b znovu dosáhne oblasti, která se překrývá s rastrovacím polem 406 iontového svazku, začne iontový svazek 401b vzorek rastrovat stejnou rychlostí jako elektronový svazek, jak je ukázáno na obr. 6(d). Tento stav představuje stav poté, co

zpracování znovu přešlo do fáze B dle obr. 5. Když oba svazky poté, co se zpracování dle obr. 6(b), (c) a (d) několikrát opakovalo, dosáhnou koncového bodu rastrovacího pole 406 iontového svazku, iontový svazek se pozastaví v poloze mimo vzorek a vzorek rastruje pouze elektronový svazek 402b, jak je ukázáno na obr. 6(e). Tento stav představuje opět stav fáze A dle obr. 5. Tedy SEM obraz a obraz rastrovacího iontového mikroskopu se získají současně, přičemž zpracování ukázaná na obr. 6(a) až 6(e) se opakují.

[**0062**] Dále, tyto dva druhy získaných obrazů se mohou zobrazovat současně na zobrazovači 129, který je součástí FIB-SEM přístroje. Jedna strana nebo obě strany získaného obrazu rastrovacího iontového mikroskopu (FIB obrazu) se mohou zvětšit nebo zmenšit na libovolnou velikost tak, aby FIB obraz mohl být zobrazován současně s obrazem rastrovacího elektronového mikroskopu (SEM obrazem).

[**0063**] Vykonáním výše popsaných zpracování lze získat následující výhody. Když je rastrovací pole iontového svazku užší než rastrovací pole elektronového svazku, lze SEM obraz použít ke zjištění polohy oblasti zpracování a obraz rastrovací oblasti iontového svazku lze použít ke sledování polohy zpracovávaného řezu. Ve výsledku tak lze okamžitě zjistit posunutí v poloze zpracování a polohu zpracování lze opravit automaticky nebo ručně. To umožňuje zlepšit přesnost zpracování.

[**0064**] Když je rastrovací pole iontového svazku širší než rastrovací pole elektronového svazku, lze obraz rastrovací oblasti iontového svazku použít ke kontrole stavu celého zpracovávaného řezu, zatímco SEM obraz lze použít k podrobnému pozorování struktury místní oblasti. Polohu zastavení zpracování tak lze určit s vysokou přesností. Oblast, která má periodickou strukturu, jako jsou periodické

17.10.12

struktury přítomné ve směru postupu zpracování, jaké lze vidět v polovodičových zařízeních, lze pozorovat na obraze s vysokým rozlišením i při zachování široké oblasti zpracování. Ve výsledku tak lze vyrobit (S)TEM tenký plátkový vzorek s velkým pozorovacím polem a vysokou kvalitou.

[0065] Když je rastrovací rychlost iontového svazku větší než rastrovací rychlost elektronového svazku, poloha zpracovávaného řezu v jednom SEM obrazovém listu se posune o hodnotu odpovídající rozdílu v časech vyzařování mezi iontovým svazkem a elektronovým svazkem. Posun však lze eliminovat také nastavením rastrovací rychlosti elektronového svazku tak, aby byla rovná rastrovací rychlosti iontového svazku, pomocí řízení integrovaným počítačem 120. To umožňuje zlepšit přesnost v určování polohy zastavení zpracování. Rovněž v případě, že se SEM obrazy získávají v průběhu FIB zpracování za účelem sestavování dat třírozměrné struktury, lze přesnost sestavování této třírozměrné struktury zlepšit.

[0066] Dále, SEM obraz vzorku bezprostředně po FIB zpracování lze získat nastavením rastrovacího času elektronového svazku jako mírně pozdějšího, než je rastrovací čas iontového svazku (to znamená, že oba svazky rastrují současně (v synchronizaci), ale stejnou polohu rastrují v různých časech), v souhlase s instrukcemi obsluhy. Tato technika je zvláště účelná v případě pozorování materiálů s nestabilním povrchem, jakými jsou například látky s rychlou oxidační reakcí. V tomto případě jsou však v obrazu získaném s použitím detektoru sekundárních elektronů informace o struktuře v poloze ozařování elektronovým svazkem smíchány s informacemi o struktuře v poloze ozařování iontovým svazkem.

[0067] Protože informace o struktuře pořízené ozařováním elektronovým svazkem se mohou od informací o struktuře pořízené ozařováním iontovým svazkem lišit,

poskytuje synchronizace rastrování iontovým svazkem s rastrováním elektronovým svazkem významnou výhodu nejen v případě, že se iontový svazek použije pro zpracování, nýbrž i v případě, že se iontový svazek použije pro pozorování.

[0068] V tomto provedení se SE3 detektor 106 použije pro pořizování SEM obrazů. Za předpokladu, že detektor umí SEM obrazy pořizovat bez toho, že by byl ovlivňován ozařováním iontovým svazkem, lze použít libovolný druh detektoru, jako jsou detektor 112 zpětně odražených elektronů a detektor 113 elektronů odražených zpět s nízkou ztrátou energie.

<Změna v oblasti zpracování iontovým svazkem a podmínek zpracování>

[0069] Dále bude popsána činnost při změně oblasti zpracování iontovým svazkem a podmínek zpracování (podmínek ozařování iontovým svazkem) při pokračování FIB zpracování. Na obr. 7 je pohled, který tuto činnost znázorňuje.

[0070] Na obr. 7(a), (c) a (e) jsou ukázány obrazovky zobrazovače při implementaci tohoto provedení. Na obr. 7(b), (d) a (f) jsou ukázány tvary vzorku, které odpovídají obrazovkám ukázaným na obr. 7(a), (c) a (e).

[0071] Předpokládá se, že zpracování se zahájí ve stavu ukázaném na obr. 7(b). Tvar naznačený tečkovanou čarou na obrazovce 506a zobrazující SEM obraz představuje tvar, jehož se má zpracováním dosáhnout. Nejprve se vzorek 505 pozoruje pomocí SEM a získaný SEM obraz se zobrazí na obrazovce 506a SEM obrazu. Dále se podle obrazovky 506a SEM obrazu nastaví rastrovací pole 509b iontového svazku. Na obrazovce SEM obrazu se zobrazí indikátor 507a, který naznačuje rastrovací pole iontového svazku.

17.10.12

[0072] Dále se rastrovací pole 509b iontového svazku pomocí ovládacího tlačítka 508 přemístí ve směru šipky X1 ukázané na obr. 7(b). V tomto případě se SEM obraz na obrazovce 506a SEM obrazu průběžně aktualizuje. Indikátor 507a, který naznačuje rastrovací pole iontového svazku, se v odezvě na pohyb rastrovacího pole 509b iontového svazku rovněž přemísťuje. Poté iontový svazek 501b dosáhne rastrovacího pole 509d iontového svazku, které je ukázáno na obr. 7(d). Přitom se na obrazovce SEM obrazu zobrazuje SEM obraz ukázaný na obr. 7(c). Vzorek nabývá tvaru ukázaného na obr. 7(d). Zpracování iontovým svazkem popsaným způsobem pokračuje. To znamená, že rastrovací pole 509d iontového svazku se pomocí ovládacího tlačítka 508 přemístí ve směru šipky X2 ukázané na obr. 7(d). Indikátor 507c, který na obrazovce 506c SEM obrazu naznačuje rastrovací pole iontového svazku, se v odezvě na pohyb rastrovacího pole 509d iontového svazku rovněž přemísťuje. Ve výsledku se vytvoří požadovaný tvar, který ukázán na obr. 7(f).

[0073] Implementací výše popsané funkce lze získat následující výhody. Obecně platí, při zpracování iontovým svazkem, že je potřeba vybrat podmínky zpracování, nastavit čas zpracování a po dokončení zpracování potvrdit zpracovaný tvar. Proto je v případě provádění mikrozpracování nezbytné podmínky zpracování odhadnout předem. Pokud se ovšem použije výše popsaná funkce, je tvar vzorku v průběhu zpracování pozorován pomocí SEM. Proto lze tvar zpracování neustále kontrolovat a oblast zpracování a podmínky zpracování lze nastavovat podle pozorování. Odstraní se tím potřeba odhadování podmínek zpracování předem.

[0074] Když je žádoucí vyříznout pouze část vzorku, lze toho dosáhnout jednoduše přemísťováním rastrovací oblasti iontového svazku podél tvaru, který se má vyříznout, za

17.10.12

současného pozorování SEM obrazu. Zpracování tak lze provádět snadno.

[0075] Když je žádoucí zpracovat vzorek zhotovený z různých látek do nějakého tvaru, je nastavení podmínek zpracování obecně složité a rychlosti zpracování se podle jednotlivých látek mění. Pokud se však použije funkce dle tohoto provedení, mění se oblast zpracování za současného pozorování stavu zpracování. Proto není potřeba takové složité nastavování předem provádět.

[0076] Navíc, pokud dojde k neočekávané situaci, jakou je například posun vzorku, lze na ni okamžitě zareagovat a zpracování může pokračovat bez přerušení.

[0077] V popsaném provedení k přemísťování rastrovacího pole iontového svazku slouží ovládací tlačítko (GUI) 508 zobrazené na zobrazovači 129. Pro přemísťování rastrovacího pole iontového svazku lze však použít výlučného řídicího panelu (konzoly) a myši. Dále, v tomto provedení bylo rastrovací pole iontového svazku přemísťováno ovládacím tlačítkem 508 a indikátor na SEM obrazu se pohyboval v odezvě na přemísťování rastrovacího pole iontového svazku. Pokud se však indikátor na SEM obrazu přemísťuje myší apod., rastrovací pole iontového svazku se může pohybovat v odezvě na přemísťování indikátoru. Dále, ačkoliv se rastrovací pole iontového svazku přemísťovalo v rovnoběžném směru, může se přemísťovat i po kružnici. V takovém případě je potřeba, aby ovládací tlačítko 508 mělo tvar, kterým se dá ukazovat po kružnici.

(2) Druhé provedení

[0078] Struktura přístroje s kompozitním svazkem nabitých částic podle druhého provedení je obecně shodná se

17.10.12

strukturou přístroje podle prvního provedení, s výjimkou struktury uvnitř FIB tubusu.

[0079] Konkrétněji, jak je ukázáno na obr. 8, FIB tubus 601a má generovací sekci 609 opravného magnetického pole, která obecně součástí FIB tubusu nebývá a která je vložena mezi elektrostatické kondenzátorové čočky 608 a elektrostatické objektivové čočky 610. Ostatní součásti FIB tubusu 601a jsou shodné se součástmi prvního provedení.

[0080] Generovací sekce 609 opravného magnetického pole opravuje deformaci iontového svazku. Instalací generovací sekce 609 opravného magnetického pole se získají následující výhody.

[0081] Když v optické ose iontového svazku existuje magnetické pole, ionty s různými hmotnostmi obíhají po různých drahách, jak je popsáno v patentové literatuře 4. To však způsobuje, že iontový svazek se nezaostří do jednoho bodu na povrchu vzorku 605. Obecně používaný galliový iontový svazek zahrnuje dva druhy izotopů. Ani v případě, že FIB-SEM přístroj zahrnuje SE3 detektor 106, nelze provádět FIB zpracování a SEM pozorování současně, pokud SEM v přístroji používá takový typ objektivových čoček, z nichž na stranu vzorku 105 uniká magnetické pole.

[0082] Tedy, v případě, že v optické ose iontového svazku 601b existuje magnetické pole, generovací sekce 609 opravného magnetického pole umožňuje zaostření iontového svazku do průsečíku 604 bez toho, že by došlo k rozdělení izotopů na vzorku. Proto i v případě, že SEM používá typ objektivových čoček, z nichž magnetické pole na stranu vzorku 105 uniká, lze SEM pozorování provádět v průběhu FIB zpracování.

17.10.12

[0083] Typ čoček nazývaný "semi-in-lens", z nichž magnetické pole na stranu vzorku uniká, má menší průměr zaostřeného svazku než objektivové čočky typu "out-lens", z nichž magnetické pole na stranu vzorku neuniká. S objektivovými čočkami "semi-in-lens" lze tedy pozorování implementovat s vyšším rozlišením. Proto lze přesnost zpracování zlepšit tím, že se v průběhu FIB zpracování provádí SEM pozorování s vysokým rozlišením využívající "semi-in-lens" objektivových čoček. Když se provádí třírozměrné konstruování s použitím množství vrstev SEM obrazů, lze získat třírozměrné konstrukce s vyšším rozlišením.

[0084] Ačkoliv je v tomto provedení generovací sekce 609 opravného magnetického pole vložena mezi elektrostatické kondenzátorové čočky 608 a elektrostatické objektivové čočky 610, stejných účinků lze dosáhnout bez ohledu na umístění generovací sekce 609 opravného magnetického pole uvnitř FIB tubusu 601a. Dále může být FIB tubus opatřen mechanismem, který odstraňuje nepotřebné izotopy a poskytuje pouze ionty žádoucí (např. filtrem, který z iontového svazku, který zahrnuje množství izotopů, odstraňuje izotopy, které jsou pro zpracování vzorku 105 nepotřebné), jak je popsáno v patentové literatuře 5, takže SEM pozorování lze provádět v průběhu ozařování iontovým svazkem v režimu "semi-in-lens", ačkoliv proud ozařování iontovým svazkem je menší.

Průmyslová využitelnost

[0085] Vynález přináší přístroj, pomocí něhož lze ve FIB-SEM přístroji provádět SEM pozorování FIB zpracování v reálném čase a neustále sledovat stav zpracování s dostatečnou přesností. Ze špičkových technických zařízení a funkčních materiálů lze vyrábět tenké plátkové vzorky s vysokým rozlišením a vysokou přesností, čímž se dramaticky

zlepší opakovatelnost a efektivita zpracování i přesnost analýzy v (S)TEM.

[0086] Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic má tubus, který vyzařuje iontový svazek za účelem pozorování, například v He iontovém mikroskopu, a tubus, který vyzařuje elektronový svazek, přičemž obraz rastrovacího iontového mikroskopu a obraz elektronového mikroskopu lze získávat současně.

Seznam vztahových značek

[0087]

| | |
|---|---|
| 101a, 601a: | Tubus iontového svazku |
| 101b, 401b, 501b, 601b: | Iontový svazek |
| 102a, 602a: | Tubus elektronového svazku |
| 102b, 402b, 602b: | Elektronový svazek |
| 103: | Vzorková komora |
| 104, 604: | Průsečík |
| 105, 405, 505, 605: | Vzorek |
| 106: | Detektor terciálních elektronů (zahrnuje kompozitní detektor nabitých částic, který je schopen zjišťovat nejen terciální elektrony, ale i sekundární elektrony a sekundární ionty) |
| 110: | Detektor sekundárních elektronů |

17.10.12

111: Detektor transmisních elektronů

112: Detektor zpětně odražených elektronů

113: Detektor elektronů odražených zpět s nízkou ztrátou energie

120: Integrovaný počítač

121: Řadič rastrování iontového svazku

122: Řadič rastrování elektronového svazku

123: Řadič detektoru zpětně odražených elektronů

124: Řadič detektoru sekundárních elektronů

125: Řadič detektoru terciálních elektronů

126: Řadič detektoru transmisních elektronů

127: Řadič detektoru elektronů odražených zpět s nízkou ztrátou energie

128: Ovládač (klávesnice, myš, atd.)

129: Zobrazovač

201: Zpětně odražený elektron

202: Sekundární elektron uvolněný nárazem na strukturu přítomnou uvnitř vzorkové komory

307: SE3 sběrná mřížka

308: Přední mřížka

406: Rastrovací pole iontového svazku

506a, 506c, 506e: Obrazovka SEM obrazu

507a, 507c: Indikátor ukazující rastrovací pole iontového svazku

508: Ovládací tlačítko, které přemísťuje rastrovací pole iontového svazku

509b, 509d: Rastrovací pole iontového svazku

606: Iontový zdroj

607: Akcelerační elektroda

608: Elektrostatické kondenzátorové čočky

609: Generovací sekce opravného magnetického pole

610: Elektrostatické objektivové čočky

17.10.12
2012-568

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic, obsahující:

tubus iontového svazku, který vyzařuje iontový svazek;

tubus elektronového svazku, který vyzařuje elektronový svazek;

vzorkovou komoru, k níž jsou tubus iontového svazku a tubus elektronového svazku připojeny;

detektor terciálních elektronů, který zjišťuje terciální elektrony, které jsou sekundárními elektrony, které se generují při srážkách zpětně odražených elektronů, které se indukují při ozařování vzorku elektronovým svazkem, se strukturami přítomnými uvnitř vzorkové komory; a

řídicí jednotku, která na základě zjištěných terciálních elektronů generuje obraz a tento obraz zobrazuje na zobrazovací jednotce, přičemž je vzorek současně ozařován iontovým svazkem.

2. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž

detektor terciálních elektronů obsahuje první elektrodu, která nastavuje účinnost zjišťování terciálních elektronů, a druhou elektrodu, která nastavuje účinnost zjišťování sekundárních elektronů generovaných ze vzorku, a

řídicí jednotka řídí napětí přiváděné na první a druhou elektrodu tak, aby byla různá, čímž umožňuje výběrové zjišťování terciálních elektronů.

3. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž

detektor terciálních elektronů je umístěn v rovině, která je kolmá k rovině zahrnující osu dopadajícího iontového svazku a osu dopadajícího elektronového svazku a která zahrnuje průsečík obou svazků.

17.10.12

4. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž

část struktur přítomných uvnitř vzorkové komory je zhotovena z materiálu povlečeného látkou, která má větší účinnost generování sekundárních elektronů než čisté železo a Permalloy.

5. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž

tubus iontového svazku obsahuje optický systém iontového svazku, který iontový svazek zaostřuje, a generovací sekci opravného magnetického pole, která generuje opravné magnetické pole k opravě odchylky iontového svazku, která je způsobena vlivem vnějšího magnetického pole mimo optický systém iontového svazku.

6. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž

tubus iontového svazku obsahuje optický systém, který iontový svazek zaostřuje, a filtr, který z iontového svazku, který zahrnuje množství izotopů, odstraňuje nepotřebné izotopy a generuje iontový svazek skládající se iontů s jedinou hmotností.

7. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž

vzorkem je tenký plátkový vzorek,

přístroj dále obsahuje detektor transmisních elektronů, který zjišťuje transmisní elektrony, které tenkým plátkovým vzorkem procházejí, když je tenký plátkový vzorek ozařován elektronovým svazkem, a

řídicí jednotka zobrazuje na zobrazovací sekci obraz generovaný s použitím transmisních elektronů, které prošly tenkým plátkovým vzorkem a byly zjištěny detektorem

17.10.12

transmisních elektronů v průběhu zpracování tenkého plátkového vzorku iontovým svazkem.

8. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 1, dále obsahující

detektor elektronů odražených zpět s nízkou ztrátou energie, který zjišťuje elektrony odražené zpět s nízkou ztrátou energie včetně elasticky odražených elektronů, a v němž

řídicí jednotka zobrazuje na zobrazovací sekci obraz generovaný s použitím elektronů odražených zpět s nízkou ztrátou energie a zjištěných detektorem elektronů odražených zpět s nízkou ztrátou energie v průběhu zpracování vzorku iontovým svazkem.

9. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž

řídicí jednotka sestavuje třírozměrný obraz tím, že obrazy, které se vztahují k jednotlivým řezům strukturou vzorku a mají pevnou šířku nebo libovolnou šířku, skládá přes sebe, obrazy se generují na základě terciálních elektronů získaných v průběhu zpracování vzorku iontovým svazkem.

10. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž

v případě zpracování vzorku, jehož struktura je v řezu polohy zastavení zpracování známa, řídicí jednotka zjišťuje polohu zastavení zpracování porovnáváním obrazu, který se generuje na základě terciálních elektronů a je získáván v průběhu zpracování vzorku iontovým svazkem, se známou strukturou v řezu a řídí vyzařování iontového svazku tak, aby se zpracování iontovým svazkem zastavilo automaticky.

11. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž

v odezvě na indikaci změny, která se týká podmínek ozařování iontovým svazkem, včetně posunutí oblasti zpracování a podmínek zpracování iontovým svazkem, řídicí jednotka mění podmínky ozařování iontovým svazkem, přičemž na zobrazovací jednotce se současně zobrazuje obraz generovaný na základě terciálních elektronů.

12. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 11, v němž

řídicí jednotka mění oblast zpracování v průběhu zpracování vzorku iontovým svazkem při zobrazování oblasti zpracování v obrazu, který je vytvořen z terciálních elektronů a zobrazen na obrazovce zobrazovací jednotky, a přemisťování indikátoru zobrazené oblasti zpracování.

13. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 12, dále obsahující

vstupní jednotku, která přemisťuje indikátor oblasti zpracování, a v němž

řídicí jednotka mění oblast zpracování v odezvě na operaci přemisťování oblasti zpracování vstupní jednotkou.

14. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 12, v němž

řídicí jednotka na obrazovce zobrazovací jednotky zobrazuje grafické uživatelské rozhraní (GUI), kterým se nastavuje indikátor oblasti zpracování, a mění indikátor oblasti zpracování v odezvě na ovládání GUI.

15. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 12, dále obsahující

konzolový panel, kterým se nastavuje indikátor oblasti zpracování, a v němž

řídicí jednotka mění indikátor oblasti zpracování v odezvě na ovládání konzolového panelu.

17.10.12

16. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic, obsahující:

tubus iontového svazku, který vyzařuje iontový svazek;

tubus elektronového svazku, který vyzařuje elektronový svazek;

vzorkovou komoru, k níž jsou tubus iontového svazku a tubus elektronového svazku připojeny;

detektor terciálních elektronů, který zjišťuje terciální elektrony, které jsou sekundárními elektrony, které se generují při srážkách zpětně odražených elektronů, které se indukují při ozařování vzorku elektronovým svazkem, se strukturami přítomnými uvnitř vzorkové komory; a

řídicí jednotku, která generuje obraz založený na zjištěných terciálních elektronech, přičemž současně řídí časování rastrovacích signálů fokusovaného iontového svazku a rastrovacích signálů elektronového svazku a ovládá vyzařování iontového svazku a zobrazování obrazu, který je založen na terciálních elektronech, na zobrazovací jednotce v souhlase s časováním.

17. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 16, v němž

řídicí jednotka synchronizuje rastrovací signály iontového svazku s rastrovacími signály elektronového svazku a vyrovnává rastrovací polohy obou svazků tak, aby byly ve stejných časech stejné, pokud je rastrovací oblast iontového svazku shodná s rastrovací oblastí elektronového svazku.

18. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 16, v němž

řídicí jednotka synchronizuje rastrovací signály iontového svazku s rastrovacími signály elektronového svazku a pokud se rastrovací oblast iontového svazku liší od rastrovací oblasti elektronového svazku, řídicí jednotka

řádkovací operaci jednoho ze svazků pozastaví tak, aby se rastrovací časy obou svazků na části, v níž se rastrovací oblasti překrývají, shodovaly.

19. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic podle nároku 16, dále obsahující

detektor iontového obrazu, který ozařuje vzorek iontovým svazkem a zjišťuje sekundární elektrony nebo sekundární ionty ze vzorku, a v němž

řídicí jednotka získává obraz založený na sekundárních elektronech nebo sekundárních iontech zjištěných detektorem iontového obrazu a zobrazuje obraz, který je založen na sekundárních elektronech nebo sekundárních iontech, a obraz, který je založen na terciálních elektronech, na zobrazovací jednotce současně.

20. Přístroj s kompozitním svazkem nabitých částic, obsahující:

plynovou trysku, které postřikuje vzorek plynem;

první tubus, který vyzařuje první svazek nabitých částic pro použití při vytváření depozitní vrstvy;

druhý tubus, který vyzařuje druhý svazek nabitých částic pro použití při pozorování;

vzorkovou komoru, k níž jsou první a druhý tubus připojeny;

plynovou trysku, která vzorek, který je uložen na vzorkové platformě uvnitř vzorkové komory, postřikuje plynem;

detektor terciálních elektronů, který zjišťuje terciální elektrony, které jsou sekundárními elektrony, které se generují při srážkách zpětně odražených elektronů, které se indukují při ozařování vzorku druhým svazkem nabitých částic, se strukturami přítomnými uvnitř vzorkové komory; a

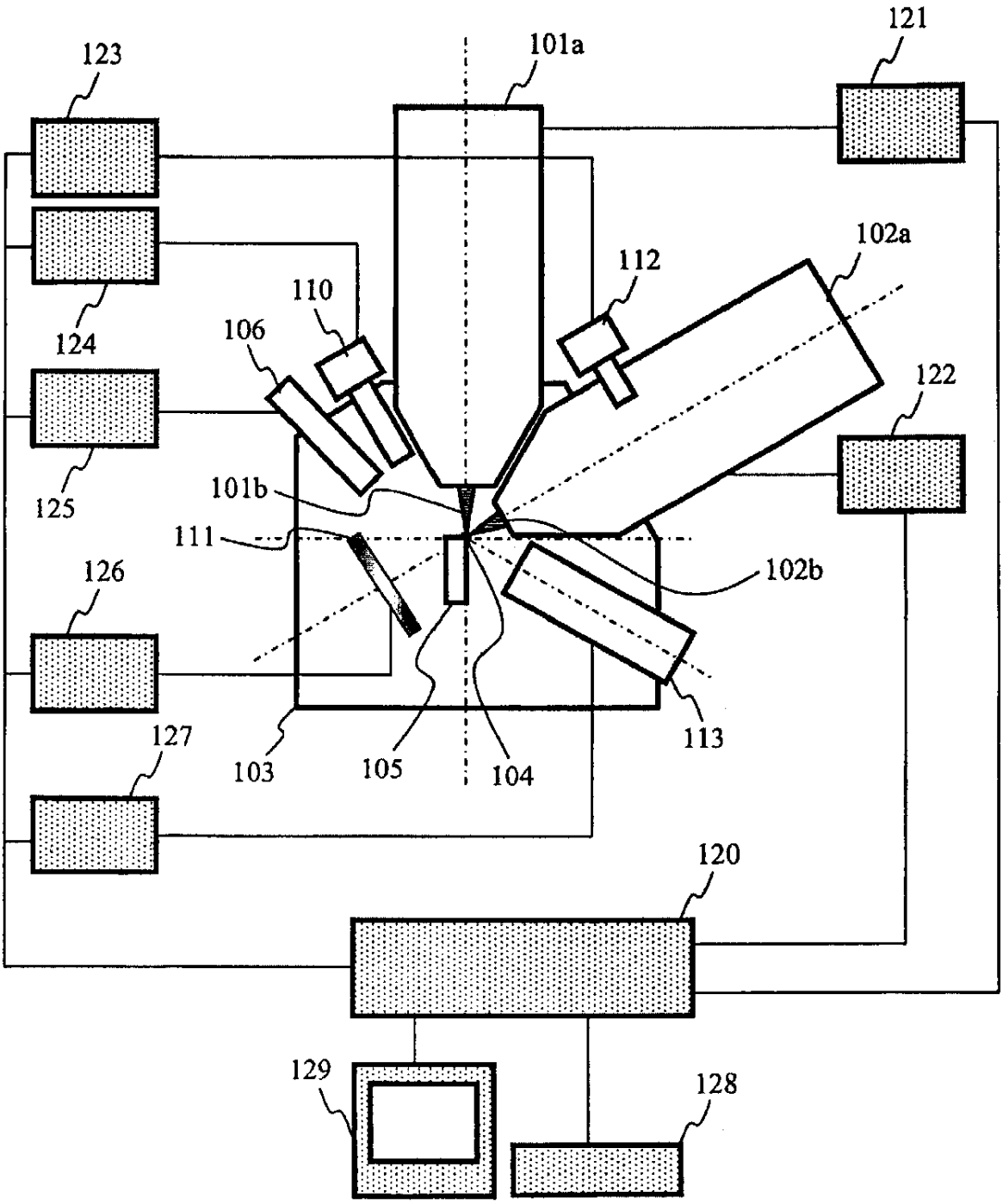
řídicí jednotku, která generuje obraz založený na zjištěných terciálních elektronech a tento obraz založený na terciálních elektronech zobrazuje na zobrazovací jednotce v

17.10.12

čase vytváření depozitní vrstvy s použitím prvního svazku nabitých částic.

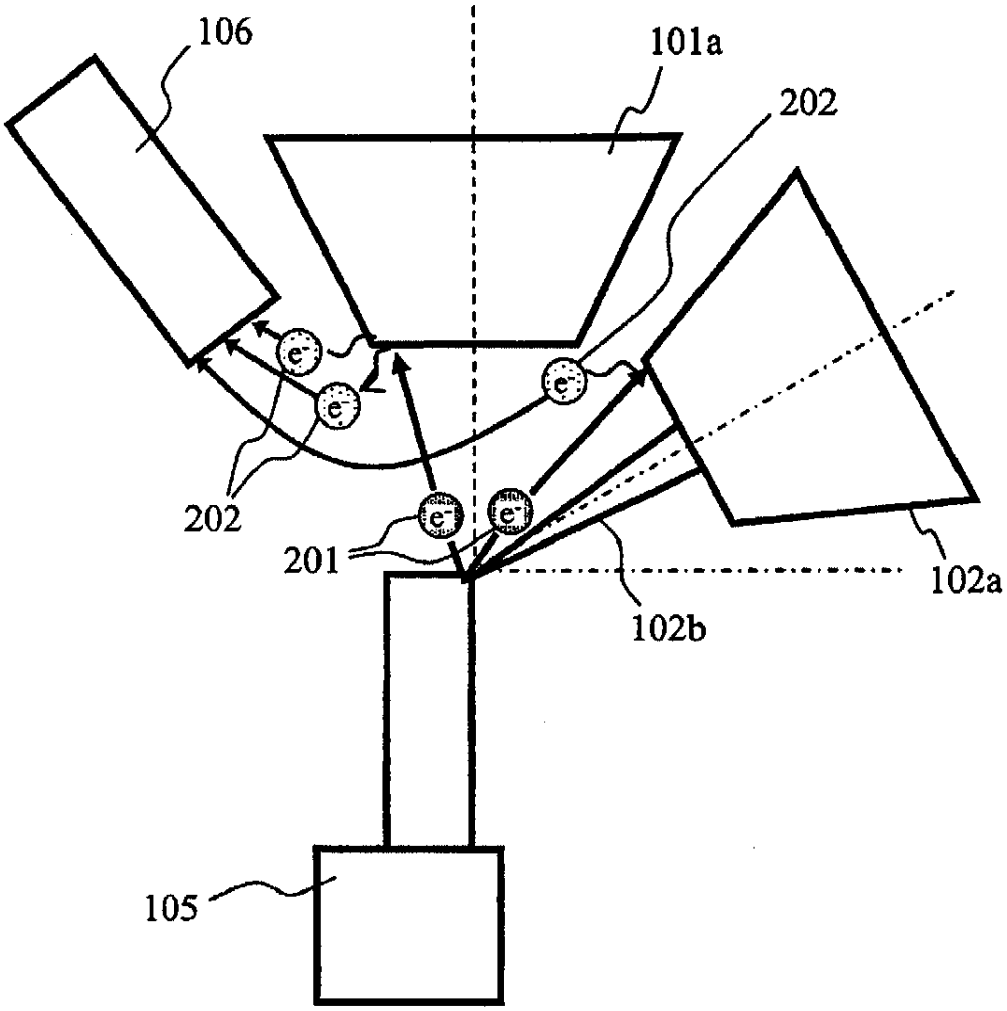
17.10.12
2012-568

**Obr. 1**



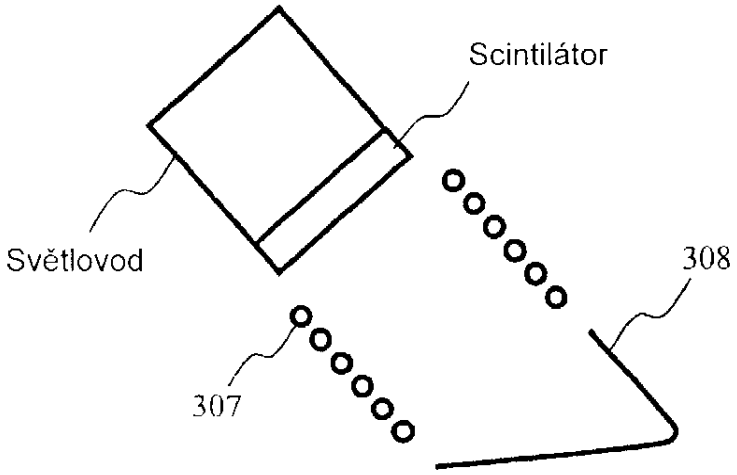
17.10.12
2012-568

**Obr. 2**

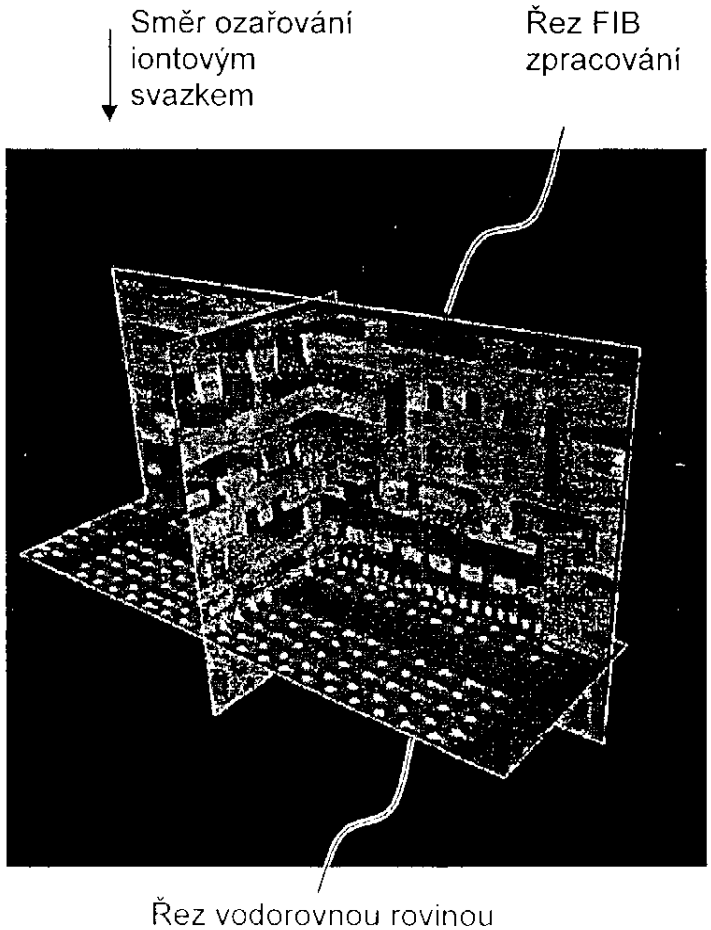


17.10.12
2012-568

## Obr. 3

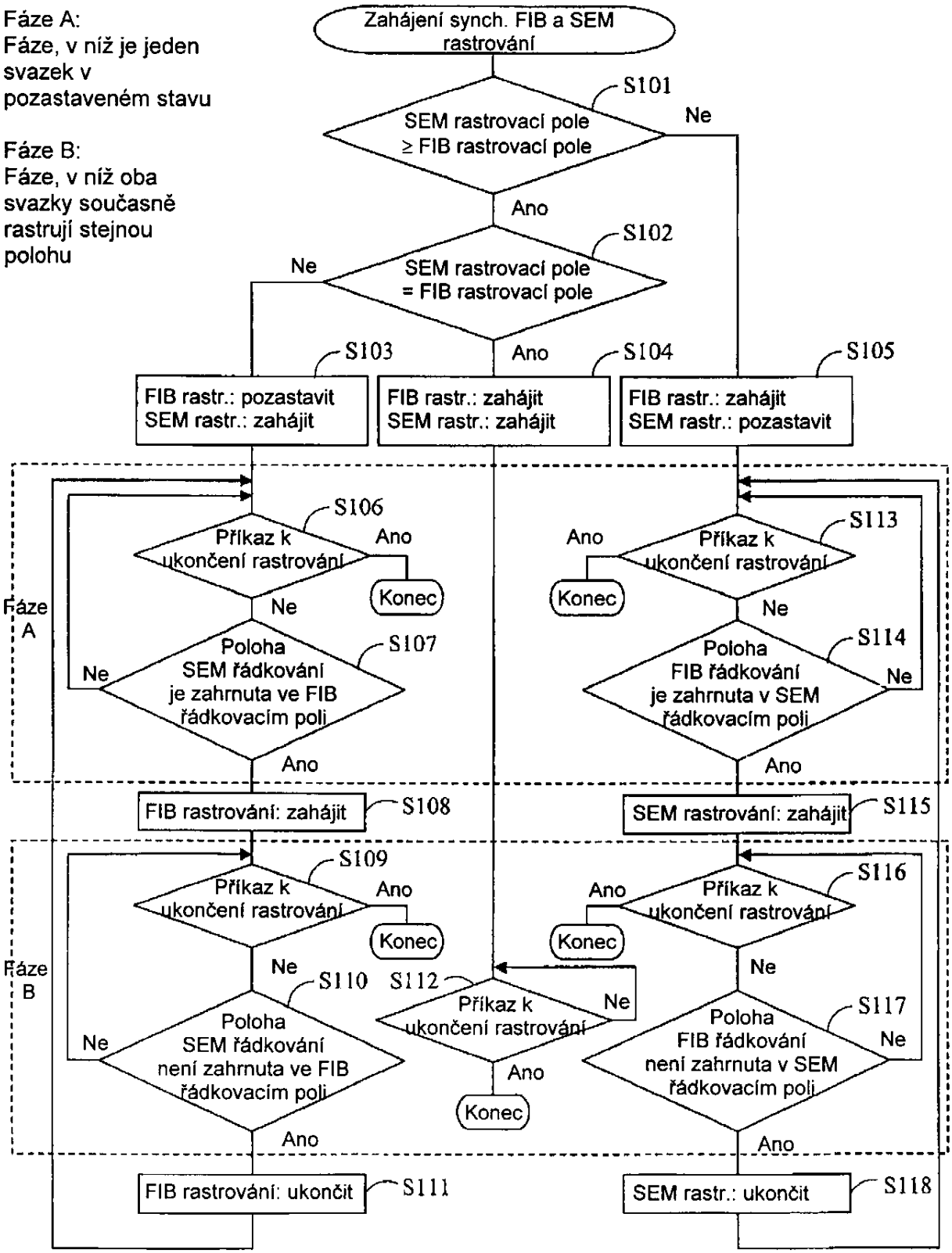



## Obr. 4



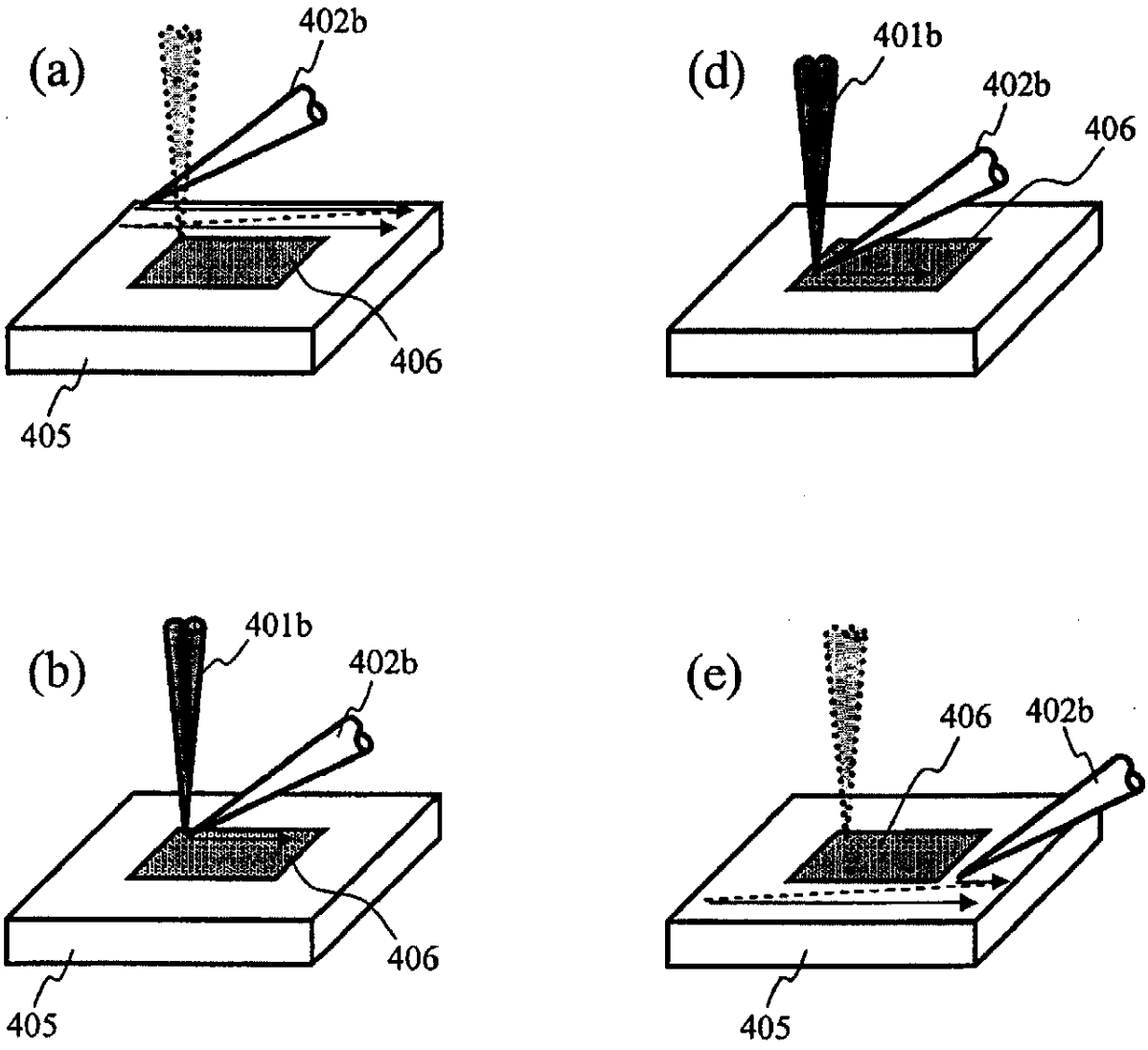
17.10.12
2012-568

**Obr. 5**



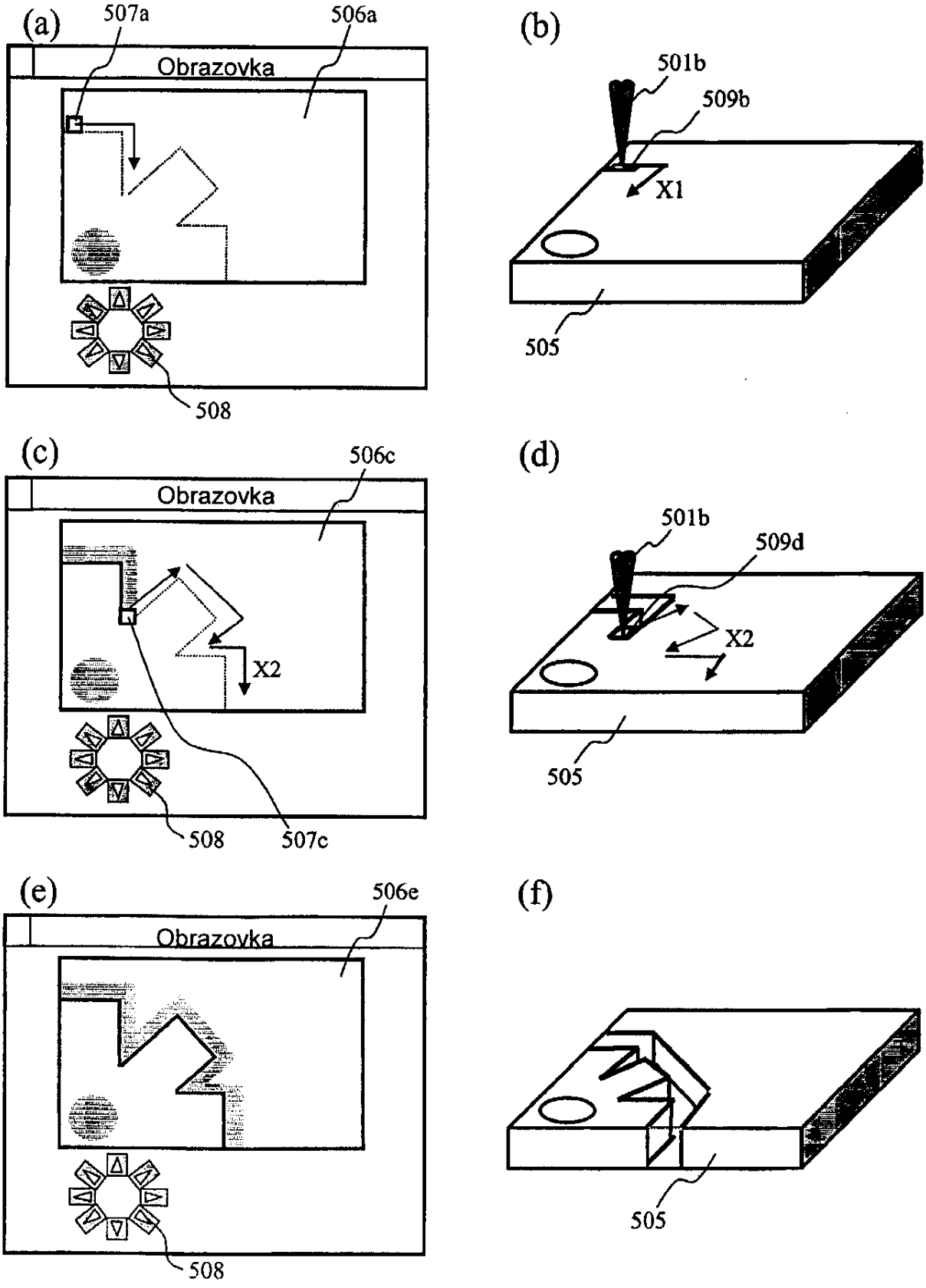
17.10.12
2012-568

**Obr. 6**



17.10.12
2012-568

**Obr. 7**



17.10.12
2012-568

**Obr. 8**

