

# PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

- (22) Přihlášeno: **12.10.2010**  
(32) Datum podání prioritní přihlášky: **15.10.2009**  
(31) Číslo prioritní přihlášky: **2009-237830**  
(33) Země priority: **JP**  
(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **09.05.2012**  
(Věstník č. 19/2012)  
(86) PCT číslo: **PCT/PCT/JP2010/067**  
**824**  
(87) PCT číslo zveřejnění: **WO 2011/046093**

(21) Číslo dokumentu:

**2012-225**

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:  
**H01J 37/244** (2006.01)  
**H01J 37/28** (2006.01)  
**H01J 37/305** (2006.01)  
**H01J 37/30** (2006.01)

(71) Přihlašovatel:

HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION,  
Tokyo 1058717, JP

(72) Původce:

Tominatsu Satoshi, Hitachinaka-shi, Ibaraki 3128504, JP  
Onishi Tsuyoshi, Hitachinaka-shi, Ibaraki 3128504, JP  
Agemura Toshihide, Hitachinaka-shi, Ibaraki 3128504, JP  
Nanri Terutaka, Hitachinaka-shi, Ibaraki 3128504, JP

(74) Zástupce:

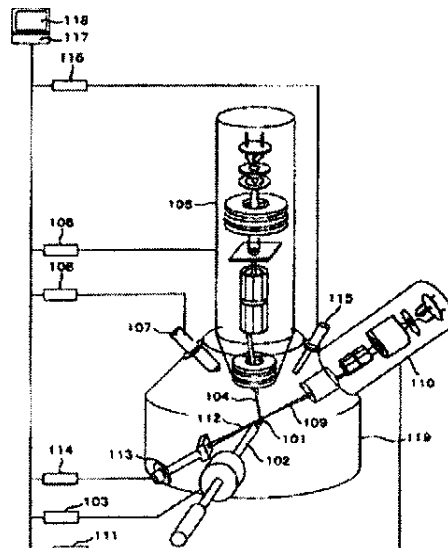
Rott, Růžička & Guttman Patentové, známkové a  
advokátní kanceláře, JUDr. Ing. Miloslav Hainz,  
Vinohradská 37, Praha 2, 12000

(54) Název přihlášky vynálezu:

**Zařízení se svazkem nabitých částic a způsob  
měření tloušťky tenkých plátek**

(57) Anotace:

Zařízení se svazkem nabitých částic podle vynálezu obsahuje transmisní elektronový detektor (113; 206), jehož detekční část je rozdělena na množství regionů (201 až 205; 301 až 305). Zařízení vypočte tloušťku plátku vzorku tím, že detekuje transmisní elektronový paprsek (112), který při ozařování vzorku elektronovým paprskem (109) vzorek generuje, jako signály z různých regionů odpovídacích různým úhlům rozptylu transmisního elektronového paprsku, a poté vypočte intenzity jednotlivých signálů. Výše popsané zařízení se svazkem nabitých částic podle vynálezu je schopno provádět přesnou kontrolu tloušťky plátku, přičemž potlačuje chyby vyplývající z vnějších podmínek. Rovněž je schopno tenkovrstvé vzorky zpracovávat na vzorky mající přesnou tloušťku plátku, čímž dovoluje zlepšit přesnost při pozorování struktur a analýze prvků.



Přístroj se svazkem nabitých částic a způsob měření tloušťky tenkých plátek

#### Oblast techniky

- 5 [0001] Vynález se týká zařízení se svazkem nabitých částic, které umí kontrolovat tloušťku tenkých plátek.

#### Dosavadní stav techniky

[0002] Potřeba prohlídek a analýz polovodičových součástí, které směřují ke stále menším rozměrům, se neustále zvětšuje. Mezi těmito prohlídkami je základní technikou analýzy poruch pro identifikaci příčin defektu přímé pozorování defektu uvnitř součásti. Aby bylo možné takové pozorování vykonat, je potřeba v cílové poloze součásti 15 provádět přesnou mikrofabrikaci. Dosud se jako zařízení pro provádění přesné mikrofabrikace používají zpracovací systémy s fokusovaným iontovým svazkem (dále jen FIB - Focused Ion Beam). Každý z FIB systémů je schopen vzorek v cílové poloze přesně zpracovávat prováděním skenování iontovým svazkem, 20 který je vychylován elektrostaticky a zaostřen do submikronové velikosti, a ozařováním vzorku iontovým svazkem. Tedy, FIB systémy se používají při vytváření příčných řezů pro analýzu, zhotovování vzorků pro analýzu a podobně.

25 [0003] Pro pozorování s vysokým rozlišením se používají transmisní (prozařovací) elektronové mikroskopy (dále jen TEM - Transmission Electron Microscope), skenovací transmisní elektronové mikroskopy (dále jen STEM - Scanning Transmission Electron Microscope) a podobné. Aby bylo možné 30 vzorek pozorovat s použitím TEM nebo STEM, je třeba vzorek zpracovat tak, aby měl dostatečně malou tloušťku a elektronový paprsek jím mohl projít, např. přibližně 100 nm. Kvůli poslednímu pokroku v miniaturizaci zařízení se stalo důležitým i řízení tloušťky tenkých plátek při zhotovování

tenkovrstvých vzorků, protože cílové polohy pozorování by měly být v rámci každého tenkovrstvého vzorku přesně umístěny.

5            [0004]        Mezi příklady technik pro kontrolu tloušťky tenkých plátek patří techniky popsané v japonském patentu č. 3223431 (Patentový dokument 1) a v japonském patentu 3221797 (Patentový dokument 2). V těchto technikách se tenký plátek, který se má zpracovat FIB, ozařuje elektronovým paprskem a  
10 zjišťuje se objem transmisních elektronů elektronového paprsku, čímž se kontroluje tloušťka tenkého plátku, který se má zpracovat. Dále, japonský patent č. 3119959 (Patentový dokument 3) popisuje, jak se tenký plátek, který se má zpracovat FIB, ozařuje elektronovým paprskem, zjišťují se  
15 intenzita ozařování a intenzita transmisního elektronového paprsku a tloušťka tenkého plátku se kontroluje s použitím poměru obou intenzit. Navíc, japonská patentová přihláška č. 2006-127850 (Patentový dokument 4) popisuje, jak se tenký plátek, který se má zpracovat FIB, ozařuje elektronovým  
20 paprskem, zjišťuje se změna luminiscence signálu pomocí detektoru transmisních elektronů a detektoru rozptýlených elektronů a o tom, zda je tloušťka tenkého plátku tloušťkou požadovanou, se rozhoduje na základě změny luminiscence signálu.

25

Dokumenty dosavadního stavu techniky

Patentové dokumenty

[0005]

Patentový dokument 1: Japonský patent č. 3223431

30 Patentový dokument 2: Japonský patent č. 3221797

Patentový dokument 3: Japonský patent č. 3119959

Patentový dokument 4: Japonská patentová přihláška č. 2006-127850.

## Podstata vynálezu

### Problém, který chce vynález vyřešit

[0006] V důsledku horlivého studia způsobů kontroly tloušťky tenkých plátek zjistili vynálezci této přihlášky 5 následující skutečnosti.

[0007] Použití elektronového paprsku ke kontrole tloušťky plátku vzorku, který se má zpracovat, je velmi efektivní, neboť jím lze získat informace o tloušťce plátku v 10 místním regionu. Ovšem i když mají vzorky stejnou tloušťku plátku, objemy transmisních elektronů se mohou lišit, protože závisejí i na materiálech, z nichž jsou vzorky vytvořeny. Z tohoto důvodu získání přesné informace o tloušťce plátku vyžaduje výpočetní prostředek tloušťky plátku, který bere do 15 úvahy také informace o materiálu vzorku.

[0008] Navíc, objem ozařovacího elektronového paprsku, jehož se použije k ozařování, se mění v souladu se stavem zdroje elektronů a tudíž není vždy konstantní. Kvůli 20 změnám v ozařovacím objemu kolísá i objem transmisních elektronů. Z tohoto důvodu získání přesné informace o tloušťce plátku vyžaduje výpočetní prostředek tloušťky plátku, který je schopen vykompenzovat vliv změny v ozařovacím objemu.

[0009] Cílem vynálezu je poskytnout zařízení se svazkem nabitých částic, které bude schopno přesně 25 kontrolovat tloušťky tenkých plátek a zároveň bude potlačovat chyby vyplývající z vnějších vlivů.

30

### Způsob řešení problému

[0010] Postupem podle vynálezu je: ozáření vzorku elektronovým paprskem; zjištění signálů z jednotlivých

regionů, které odpovídají různým rozptylovým úhlům transmisního elektronového paprsku; výpočet intenzit individuálních signálů; a výpočet přesné tloušťky tenkého plátku.

5

#### Účinky vynálezu

[0011] Vynález umožňuje zpracovávat tenkovrstvé vzorky na vzorky, které mají přesnou tloušťku plátku, a tím zlepšovat přesnost při pozorováních struktury, analýze prvků a podobně.

10

#### Přehled obrázků na výkresech

##### [0012]

Na obr. 1 je schéma ukazující příklad konfigurace zařízení se svazkem nabitých částic.

15

Na obr. 2 je schéma ukazující příklad konfigurace transmisního elektronového detektoru koncentrického typu s rozdělením na jednotlivé regiony.

20

Na obr. 3 je schéma ukazující příklad konfigurace transmisního elektronového detektoru lineárního typu s rozdělením na jednotlivé regiony.

25

Na obr. 4 je schéma, které ukazuje, jak jsou elektrony prošlé vzorkem přijímány v rozděleném transmisním elektronovém detektoru.

30

Na obr. 5 je schéma pro popis rozprostření vzorkem prošlých elektronů pro případ silného vzorku.

Na obr. 6 je schéma pro popis rozprostření vzorkem prošlých elektronů pro případ tenkého vzorku.

Na obr. 7 je schéma ukazující závislost intenzity signálu na tloušťce plátku pro různé přijímací regiony detektoru transmisních elektronů.

5 Na obr. 8 je schéma ukazující závislost intenzity normalizovaných signálů na tloušťce plátku pro různé přijímací regiony detektoru transmisních elektronů.

10 Na obr. 9 je schéma ukazující závislost intenzity signálu BF1 na tloušťce plátku pro různé intenzity ozařovacího elektronového paprsku.

15 Na obr. 10 je schéma ukazující závislost intenzity signálu DF3 na tloušťce plátku pro různé intenzity ozařovacího elektronového paprsku.

20 Na obr. 11 je schéma pro popis závislosti intenzity podílového signálu na tloušťce plátku při výpočtu tloušťky plátku.

Na obr. 12 je schéma pro popis rozprostření vzorkem prošlých elektronů v případě vzorku z materiálu s malou atomovou hmotností.

25 Na obr. 13 je schéma pro popis rozprostření vzorkem prošlých elektronů v případě vzorku z materiálu s velkou atomovou hmotností.

30 Na obr. 14 je schéma ukazující závislost intenzity signálu BF1 na tloušťce plátku pro různé základní prvky vzorku.

35 Na obr. 15 je schéma ukazující závislost intenzity signálu BF2 na tloušťce plátku pro různé základní prvky vzorku.

Na obr. 16 je schéma pro popis vhodného výběru přijímacího regionu transmisního elektronového detektoru.

5 Na obr. 17 je schéma pro popis vhodného výběru přijímacího regionu transmisního elektronového detektoru.

Na obr. 18 je schéma ukazující mapu chemického složení vzorku, který se má zpracovat.

10

Na obr. 19 je schéma ukazující způsob zadávání prvku pro vzorek, který se má zpracovat.

15 Na obr. 20 je schéma ukazující příklad numerického zobrazení tloušťky plátku v místě označeném kurzorem.

Na obr. 21 je schéma ukazující příklad analogového zobrazení tloušťky plátku na stupnici v místě označeném kurzorem.

20

Na obr. 22 je schéma ukazující příklad zobrazení tloušťky plátku v bublině v místě označeném kurzorem.

25 Na obr. 23 je schéma ukazující příklad numerického zobrazení tloušťky plátku ve vybraném regionu.

Na obr. 24 je schéma ukazující příklad analogového zobrazení tloušťky plátku na stupnici ve vybraném regionu.

30 Na obr. 25 je schéma ukazující příklad zobrazení tloušťky plátku v bublině ve vybraném regionu.

Na obr. 26 je schéma ukazující příklad zobrazení mapy tloušťky tenkého plátku.

35

Na obr. 27 je schéma ukazující příklad GUI zobrazení přijímacích regionů transmisního elektronového detektoru.

5 Na obr. 28 je schéma ukazující příklad GUI zobrazení součtu více příjmových regionů transmisního elektronového detektoru.

10 Na obr. 29 je schéma ukazující příklad konfigurace zařízení se svazkem nabitých částic, které je opatřeno znakem extrakce jemného dílu vzorku.

Na obr. 30 je schéma pro popis procedury extrakce jemného dílu vzorku.

15 Na obr. 31 je schéma pro popis zpracování tenkého plátku jemného dílu vzorku.

20 Na obr. 32 je schéma ukazující příklad konfigurace zařízení se svazkem nabitých částic opatřeného plynovým iontovým svazkem.

Na obr. 33 je schéma pro popis dokončovacího zpracování plynovým iontovým svazkem.

## 25 Příklady provedení vynálezu

[0013] Provedení popisují zařízení se svazkem nabitých částic, které zahrnuje: optický systém elektronového paprsku nakonfigurovaný k provádění ozařování elektronovým paprskem; vzorkovou platformu, na níž se uloží vzorek; 30 transmisní elektronový detektor, který má detekční část rozdělenou do množství regionů a který je nakonfigurovaný ke zjišťování vzorkem prošlých (transmisních) elektronů; výpočetní mechanismus nakonfigurovaný k vypočítávání poměru intenzity transmisního elektronového paprsku zjištěného v 35 prvním regionu z množství regionů ku intenzitě transmisního



elektronového paprsku zjištěného ve druhém regionu z množství regionů; a zobrazovací zařízení nakonfigurované k zobrazování tloušťky plátku vzorku.

5           [0014]       Navíc, provedení popisují způsob měření tloušťky tenkého plátku na vzorku, způsob zahrnuje: ozáření vzorku elektronovým paprskem pomocí optického systému elektronového paprsku; zjištění transmisního elektronového paprsku, který vzorkem prošel, transmisním elektronovým  
10   detektorem, který zahrnuje detekční část rozdělenou do množství regionů; vypočtení, kalkulátorem, poměru intenzity transmisního elektronového paprsku zjištěného v prvním regionu z množství regionů ku intenzitě transmisního elektronového paprsku zjištěného ve druhém regionu z množství  
15   regionů; a zobrazení tloušťky tenkého plátku vzorku zobrazovací jednotkou.

          [0015]       Navíc, provedení popisují, že intenzita transmisního elektronového paprsku zjištěného regionem pro  
20   zjišťování transmisního elektronového paprsku v malém úhlu rozptylu se vydělí intenzitou transmisního elektronového paprsku zjištěného regionem pro zjišťování transmisního elektronového paprsku ve velkém úhlu rozptylu.

25           [0016]       Dále, provedení popisují, že první region a/nebo druhý region se změní v případě, že vlastnost transmisního elektronového paprsku zjištěná v prvním regionu a/nebo ve druhém regionu splní předem určenou podmínku.

30           [0017]       Navíc, provedení popisují, že první region a/nebo druhý region se změní na základě základního prvku té části vzorku, která je ozařována elektronovým paprskem.

          [0018]       Dále, provedení popisují, že zařízení zahrnuje  
35   spektroskopický detektor nakonfigurovaný ke zjišťování

základního prvku vzorku. Navíc, spektroskopickým detektorem je s výhodou detektor rentgenového záření (RTG detektor).

5 [0019] Navíc, provedení popisují vstupní zařízení nakonfigurované k zadávání základního prvku vzorku. Dále, provedení popisují, že základní prvek vzorku se zadá do kalkulátoru pomocí vstupního zařízení.

10 [0020] Dále, provedení popisují, že se zobrazí průměrná tloušťka tenkého plátku v požadovaném regionu vzorku.

15 [0021] Navíc, provedení popisují, že se zobrazí rozložení tloušťky tenkého plátku v požadovaném regionu vzorku.

[0022] Navíc, provedení popisují zařízení se svazkem nabitých částic, který dále zahrnuje optický systém iontového svazku nakonfigurovaný k ozařování vzorku iontovým svazkem. 20 Provedení také popisují, že tenký plátek se na vzorku vytvoří ozařováním vzorku iontovým svazkem pomocí optického systému iontového svazku.

25 [0023] Dále, provedení popisují, že ozařování iontovým svazkem je řízeno na základě výstupu z výpočetního mechanismu.

[0024] Dále, provedení popisují, že zařízení se 30 svazkem nabitých částic je schopno vyzařovat iontový svazek a elektronový paprsek současně. Navíc, provedení popisují, že vytváření tenkého plátku vzorku pomocí ozařování iontovým svazkem a měření tenkého plátku pomocí ozařování elektronovým paprskem se provádějí současně.

[0025] Dále, provedení popisují zařízení se svazkem nabitých částic, které dále zahrnuje přepravní mechanismus nakonfigurovaný k přepravování dílu vzorku odděleného z původního vzorku zpracováním iontovým svazkem. Navíc,  
5 provedení popisují, že se změní tloušťka tenkého plátku dílu vzorku, který byl oddělen z původního vzorku zpracováním iontovým svazkem.

[0026] Výše zmíněné aspekty a účinky, stejně jako  
10 další nové aspekty a účinky, jsou níže popsány s odkazy na výkresy. Povšimněte si, že výkresy slouží pro porozumění vynálezu a nejsou zamýšleny k omezení rozsahu nároků. Navíc, provedení lze vhodně kombinovat a takové kombinace provedení jsou rovněž zahrnuty do tohoto popisu.

15

#### Provedení 1

[0027] V tomto provedení je popsáno zařízení se svazkem nabitých částic, které umí přesně kontrolovat tloušťku tenkého plátku vzorku, který se má zpracovat  
20 iontovým svazkem.

[0028] Na obr. 1 je ukázán příklad konfigurace zařízení se svazkem nabitých částic. Zařízení se svazkem nabitých částic podle tohoto provedení obsahuje: vzorkovou  
25 platformu 102, která je pohyblivá a na níž je uložen vzorek 101; řídicí jednotku 103 polohy vzorku, která řídí polohu vzorkové platformy 102 pro určení pozorovací nebo zpracovací polohy vzorku 101; optický systém 105 iontového svazku, který provádí zpracování vzorku 101 jeho ozařováním iontovým  
30 svazkem 104; řídicí jednotku 106 optického systému iontového svazku, která řídí optický systém 105 iontového svazku; a sekundární elektronový detektor 107, který zjišťuje sekundární elektrony ze vzorku 101. Řídicí jednotka 108 sekundárního elektronového detektoru řídí sekundární

elektronový detektor. Řídící jednotka 111 optického systému elektronového paprsku řídí optický systém 110 elektronového paprsku, který vzorek 101 ozařuje elektronovým paprskem 109. Řídící jednotka 114 transmisního elektronového detektoru řídí  
5 transmisní elektronový detektor 113, který zjišťuje transmisní elektronový paprsek 112, který prošel vzorkem 101. Řídící jednotka 116 RTG detektoru řídí RTG detektor 115, který zjišťuje RTG záření vybuzené ve vzorku 101 ozařováním vzorku 101 elektronovým paprskem 109. Centrální procesor 117  
10 řídí řídicí jednotku 103 polohy vzorku, řídicí jednotku 106 optického systému iontového svazku, řídicí jednotku 108 sekundárního elektronového detektoru, řídicí jednotku 111 optického systému elektronového paprsku, řídicí jednotku 114 transmisního elektronového detektoru a RTG detektor 115 a  
15 podobně. Jako centrální procesor 117 je obecně a například použit osobní počítač nebo pracovní stanice. Dále, zařízení se svazkem nabitých částic obsahuje zobrazovací zařízení 118, které zobrazuje výstup z centrálního procesoru 117 na obrazovce. Vzorková platforma 102, optický systém 105  
20 iontového svazku, sekundární elektronový detektor 107, optický systém 110 elektronového paprsku, transmisní elektronový detektor 113 a RTG detektor 115 a podobně jsou umístěny ve vakuové skříni 119. V této konfiguraci se vzorek 101 uložený na vzorkové platformě 102 zpracovává ozařováním  
25 vzorku 101 iontovým svazkem 104, který je vytvářen optickým systémem 105 iontového svazku, přičemž tloušťka vzorku 101 je sledována pomocí signálu z transmisního elektronového detektoru 113.

30 [0029] Povšimněte si, že v zařízení se svazkem nabitých částic podle provedení 1 je optický systém 105 iontového svazku uspořádán ve svislém směru a optický systém 110 elektronového paprsku je uspořádán v šikmém směru. Ovšem podoba uspořádání optických systémů se pouze na tuto podobu  
35 neomezuje. Například, optický systém 105 iontového svazku

může být uspořádán v šikmém směru a optický systém 110 elektronového paprsku může být uspořádán ve svislém směru. Navíc, jak optický systém 105 iontového svazku, tak optický systém 110 elektronového paprsku mohou být uspořádány šikmo.

5

[0030] Nyní bude vysvětlen příklad konkrétní konfigurace transmisního elektronového detektoru 113. Na obr. 2 je ukázán detektor, který má detekční regiony vytvořené rozdělením regionu do sousých regionů. Ačkoliv je zde ukázán  
10 příklad, v němž je region rozdělen do pěti regionů 201 až 205, platí toto provedení pro jakékoliv rozdělení regionu do dvou nebo více regionů. Řídící jednotka 114 transmisního elektronového detektoru dle obr. 1 řídí polohu detektoru 206 a provádí ustavování polohy takovým způsobem, aby když není  
15 vzorek 101 přítomen, ozařovací elektronový paprsek 109 dopadal do regionu 201 ve středu detektoru 206. K posílání signálů z příslušných regionů do řídicí jednotky 114 transmisního elektronového detektoru slouží vodiče 207 apod. Detektor 206 je tvořen například polovodičovým detektorem  
20 nebo podobným. V tomto případě jsou regiony 201 až 205 navzájem izolovány a signály z příslušných regionů 201 až 205 se nemohou vzájemně mísit. Když je polovodičový detektor ozařován transmisním elektronovým paprskem 112, vznikají v závislosti na energii elektronů páry elektron - díra.  
25 Například v případě křemíkového polovodičového detektoru je energie potřebná pro vznik páru elektron - díra při pokojové teplotě asi 3.6 eV. Tedy, pokud má transmisní elektronový paprsek 112 energii 30 kV, vznikne na každý elektron asi 8000 párů elektron - díra. Páry elektron - díra se projeví jako  
30 proud ve vodičích 207, čímž lze kontrolovat objem transmisních elektronů. Elektronový detektor 206 nemusí tvořit jediná vrstva. V části regionu 201 může být například vytvořen otvor pro vsazení detektoru do druhé vrstvy. V takovém případě lze přesně zjistit pouze elektron, který  
35 prošel otvorem v první vrstvě. Dále, detektor nemusí být

nezbytně tvořen souosými mezikružními ukázanými na obr. 2. Například, detektor může být tvořen regiony 301 až 305, jak je ukázáno na obr. 3, přičemž ustavování polohy se provádí takovým způsobem, aby region 301 odpovídal regionu 201 dle obr. 2. Tedy, region 301 může být v tomto případě nakonfigurován ke zjišťování signálu z blízkosti středu a region 305 může být nakonfigurován ke zjišťování signálu na vnější straně. Tato struktura je výhodná tím, že je jednoduchá a lze ji snadno umístit i do úzkého prostoru. Detektor tvořený soustřednými mezikružními dle obr. 2 je naopak výhodný tím, že velikost signálu na vnější straně je větší.

[0031] Způsob, jakým je detektor 206 ozařován transmisním elektronovým paprskem 112, který prošel vzorkem 101, bude popsán s odkazy na obr. 4. Na obr. 4 je ukázán detektor 206 při pohledu v řezu procházejícím středem detektoru 206. Elektronový paprsek 109, jímž je ozařován vzorek 101, se interakcí se vzorkem rozprostře do transmisního elektronového paprsku 112. Transmisní elektronový paprsek 112 tak ozařuje regiony 201 až 205 detektoru 206. Region 201, který se nachází v blízkosti středu, je ozařován touto částí elektronového paprsku, která vzorkem prošla bez toho, že by byla ovlivněna rozptylem uvnitř vzorku 101 v takové míře jako ostatní části elektronového paprsku. Obraz získaný sejmutím vzorku pomocí signálu, který nebyl rozptýlen v takové míře jako ostatní signály, se obecně nazývá světlým obrazem (dále BF obraz - bright field). Na druhé straně, region 205 na vnější straně je ozařován částí elektronového paprsku, která byla ve vzorku 101 rozptýlena ve velké míře. Obraz získaný sejmutím vzorku pomocí signálu, který byl rozptýlen ve velké míře, se obecně nazývá tmavým obrazem (dále DF obraz - dark field). Hranice mezi BF a DF se však neurčuje fyzikálně, nýbrž relativně. V případě provedení 1 jsou například regiony 201 a 202 určeny

jako BF a regiony 203 až 205 jsou určeny jako DF; pro názornost budou regiony 201 a 202 označovány jako BF1 a BF2 a regiony 203, 204 a 205 budou označovány jako DF1, DF2 a DF3.

5            [0032]        Vztah        mezi        rozdělením        transmisního  
elektronového paprsku a tloušťkou tenkého plátku vzorku bude  
popsán s odkazy na obr. 5 a 6. Na obr. 5 je ukázán případ  
relativně silného vzorku. V tomto případě je pravděpodobnost,  
že elektronový paprsek bude rozptýlen, relativně vysoká,  
10 protože elektronový paprsek 109 při průchodu vzorkem 501  
interaguje s velkým množstvím atomů. Z tohoto důvodu je  
transmisní elektronový paprsek 502 rozprostřen a region 205,  
který se nachází na vnější straně, je ozařován velkou částí  
elektronového paprsku. Na druhé straně, v případě, že vzorek  
15 601 je relativně tenký, jak je ukázáno na obr. 6, je  
pravděpodobnost, že elektronový paprsek poputuje po přímé  
linii, relativně vysoká, protože interakce elektronového  
paprsku s atomy vzorku je malá. Z tohoto důvodu bude  
intenzita signálu z každém z regionů 201, 202 apod., které  
20 jsou blízké středu, vysoká. Povšimněte si, že regiony  
ozařování jsou na obr. 5 a obr. 6 ukázány tak, jakoby  
představovaly hraniční linie elektronového paprsku, ve  
skutečnosti však není pravdou, že by elektronovým paprskem  
byly ozařovány pouze regiony uvnitř příslušných regionů  
25 ozařování. Na obr. 5 a obr. 6 je spíše vizuálně srozumitelným  
způsobem ukázáno, že při porovnání vzorků, které mají velkou  
tloušťku plátku a malou tloušťku plátku, má intenzita uvnitř  
regionu tendenci se zvětšovat nebo zmenšovat. Tedy, skutečný  
elektronový paprsek je mezi regiony 201 a 205 vždy jistým  
30 způsobem rozdělen.

          [0033]        Na obr. 7 a obr. 8 jsou ukázány závislosti  
intenzity signálů na tloušťce tenkého plátku v různých  
přijímacích regionech transmisního elektronového detektoru.  
35 Na obr. 7 je názorně a srozumitelně ukázána intenzita 701

signálu z BF1 (signál z regionu 201) a intenzita signálu 702 v DF3 (signál z regionu 205). Jak je popsáno výše v souvislosti s obr. 5 a obr. 6, intenzita 701 signálu z BF1 se zvětšuje, když se tloušťka tenkého plátku zmenšuje (přičemž se intenzita signálu pohybuje k levé straně grafu), a intenzita signálu z DF3 se zmenšuje, když se tloušťka tenkého plátku zmenšuje (přičemž se intenzita signálu pohybuje k levé straně grafu). Na obr. 8 je ukázán graf znázorňující intenzity signálů z pěti regionech, přičemž každý ze signálů je normalizován na velikost signálu příslušného určité tloušťce  $T_0$  tenkého plátku. V tomto případě intenzita 801 signálu z BF1 se zmenšováním tloušťky monotónně roste, zatímco intenzita 802 signálu z BF2 má ve směru zmenšování tloušťky tenkého plátku vrchol. Na druhé straně, intenzita 803 signálu z DF1, intenzita 804 signálu z DF2 a intenzita 805 signálu z DF3 se zmenšováním tloušťky tenkého plátku monotónně klesají. Ukázaný trend však závisí, jak je vysvětleno dále, na chemickém prvku a tudíž se mění. Je potřeba porozumět tomu, že DF1 nemusí při zmenšování tloušťky tenkého plátku nezbytně monotónně klesat a že DF1 monotónně klesá, jak je ukázáno na obr. 8, pouze pro určité chemické prvky (například křemík). Tato série popisů platí za podmínky, že trendy ukázané na obr. 7 a obr. 8 pro určitý prvek existují (například pro křemík). Pokud se zajistí, že ukázané trendy platí, lze tloušťku tenkého plátku zjistit zpětným výpočtem z hodnoty signálu například z BF1. Absolutní hodnota intenzity 701 signálu však kolísá v závislosti na intenzitě elektronového paprsku 109. Intenzita elektronového paprsku 109 kolísá v závislosti na stavu apod. optického systému 110 elektronového paprsku dle obr. 1. Změnu v intenzitě elektronového paprsku způsobenou stavem, který může řídit řídicí jednotka 111 optického systému elektronového paprsku, jako je síla čoček, lze do určité míry odhadnout. Existuje však mnoho případů, v nichž intenzita elektronového paprsku kolísá v důsledku neočekávaných změn ve stavu zdroje



elektronů a podobně, takže je velmi obtížné udržovat intenzitu ozařovacího elektronového paprsku stálou. Z tohoto důvodu, když se intenzita ozařovacího elektronového paprsku sníží, signál z BF1 zmenší svou intenzitu z intenzity 901 na intenzitu 902, jak je ukázáno na obr. 9. V takovém případě, i když lze signál z BF1 získat, není možné správnou tloušťku tenkého plátku vypočítat, protože není jisté, která z intenzity 901 signálu a intenzity 902 signálu je správná.

10            [0034]     I když lze změny v elektronovém paprsku 109, kvůli zjišťování kolísání intenzity ozařovacího elektronového paprsku, zjišťovat vkládáním detektoru proudu apod. do elektronového paprsku, potom však není možné kontrolu tloušťky plátku provádět v reálném čase, protože současně  
15            dojde k přerušování ozařování vzorku 101 a ztratí se transmisní signál. Navíc, v případě, že je detektor mezi zdroj elektronů a vzorek vkládán mechanicky, zabere mechanické vložení nějaký čas. Je představitelný i způsob, v němž by byl detektor ozařovacích elektronů ozařován elektronovým paprskem  
20            odkloněným o velký úhel elektromagnetickým polem, ale velké odklony elektronového paprsku mohou způsobit posunutí ozařovací polohy, když se poté provede opětovné ozařování vzorku. Z těchto důvodů existuje potřeba způsobu, který bude  
25            potlačovat chyby ve výpočtu tloušťky plátku způsobené kolísáním intenzity ozařovacího elektronového paprsku bez toho, že by bylo nutné kolísání intenzity ozařovacího elektronového paprsku znát.

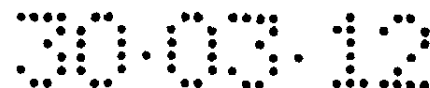
                 [0035]     Pozornost je soustředěna na signál z DF3. Jak  
30            je ukázáno na obr. 10, když se intenzita ozařovacího elektronového paprsku zmenší, intenzita signálu poklesne z intenzity 1001 na intenzitu 1002. Zároveň, poměr zmenšení intenzity 901 signálu ku intenzitě 902, které je důsledkem zmenšení objemu ozařovacích elektronů, bude stejný jako poměr  
35            zmenšení intenzity 1001 signálu ku intenzitě 1002. Pokud se

tedy signál z BF1 vydělí signálem z DF3, lze tím vyrušit kolísání elektronového paprsku 109. Na obr. 11 je ukázán graf závislosti tohoto podílového signálu na tloušťce tenkého plátku. Jak je popsáno výše, vliv kolísání intenzity ozařovacího elektronového paprsku lze provedením dělení vyrušit. Navíc, detektor ukázaný na obr. 2 může signály z BF1 a DF3 apod. získávat současně. Výsledek dělení lze tudíž získat v reálném čase v průběhu ozařování. Dále, jak je popsáno na obr. 8, BF1, který dává signál, který se při zmenšování tloušťky tenkého plátku monotónně zvětšuje, se vydělí DF3, který dává signál, který se monotónně zmenšuje a to navíc rychleji. Lze tak získat intenzitu 1101 signálu, která se mění strměji než kterýkoliv jiný signál ukázaný na obr. 8. Taková strmá závislost signálu na tloušťce tenkého plátku znamená, že rozlišení tloušťky tenkého plátku bude jemnější. Konkrétně řečeno, pokud je získanou intenzitou podílu BF1/DF3 intenzita signálu označená A, lze tloušťku T plátku z intenzity A vypočítat s velkou přesností.

20 [0036] Ovšem jak bylo popsáno výše, vztah mezi tloušťkou plátku vzorku a transmisním elektronovým paprskem platí pouze pro určitý konkrétní chemický prvek. Při výpočtu tloušťky plátku vzorku z transmisního elektronového paprsku je proto třeba uvažovat s prvkem, který z podstatné části  
25 vzorek tvoří (základní prvek). Vztah mezi rozdělením transmisního elektronového paprsku a základním prvkem vzorku bude popsán s odkazy na obr. 12 a obr. 13. Na obr. 12 je ukázán příklad vzorku z relativně lehkého prvku (prvku s malou atomovou hmotností). V tomto případě elektronový paprsek 109 při průchodu vzorkem 1201 interaguje s atomy relativně malé atomové hmotnosti. Pravděpodobnost rozptylu elektronového paprsku je tudíž poměrně malá. Na druhé straně, pravděpodobnost postupu transmisního elektronového paprsku 1202 v přímé linii je poměrně vysoká. Intenzita signálu z  
30 obou z regionů 201, 202, které se nacházejí blízko středu, je  
35

proto v tomto případě vysoká. V případě vzorku 1301 z relativně těžkého prvku (prvku s velkou atomovou hmotností), který je ukázán na obr. 13, se elektronový paprsek rozprostře, protože interakce elektronového paprsku s atomy vzorku je větší. Tedy, region 205, který se nachází na vnější straně, je ozařován větším objemem elektronového paprsku. Povšimněte si, že ozařovací regiony jsou na obr. 12 a obr. 13 znázorněny tak, jakoby představovaly hraniční čáry elektronového paprsku, ale není pravdou, že by elektronovým paprskem byly ozařovány pouze regiony uvnitř příslušných ozařovacích regionů. Na obr. 12 a obr. 13 je spíše vizuálně srozumitelným způsobem ukázáno, že při porovnání vzorků, které jsou ze základních prvků s malou a velkou atomovou hmotností, má intenzita uvnitř regionu tendenci se zvětšovat nebo zmenšovat. Tedy, skutečný elektronový paprsek je mezi regiony 201 a 205 vždy jistým způsobem rozdělen.

[0037] Na obr. 14 a obr. 15 je ukázána závislost intenzity signálu na tloušťce plátku pro různé základní prvky vzorku. Na obr. 14 jsou ukázány intenzity signálů z BF1 (signál z regionu 201). Intenzita 1401 signálu na obr. 14 odpovídá případu, v němž je materiálem vzorku uhlík (s atomovou hmotností 12.01), intenzita 1402 signálu odpovídá případu, v němž je materiálem vzorku křemík (s atomovou hmotností 28.09), a intenzita 1403 signálu odpovídá případu, v němž je materiálem vzorku wolfram (s atomovou hmotností 183.9). Jak je vidět z obr. 12 a obr. 13, velikost signálu se zvětšující se atomovou hmotností klesá. Dále, na obr. 15 jsou ukázány intenzity signálů z BF2 (signál z regionu 202). Jak intenzita 1501 uhlíku, tak intenzita 1502 křemíku mají uprostřed závislosti vrchol. Proto, pokud by byl pro kontrolu tloušťky tenkého plátku použit signál z BF2, odpovídaly by v případě například uhlíku jedné intenzitě A signálu dvě tloušťky T1 a T2 plátku, přičemž v takovém případě nelze určit, které z nich je správná. K takové situaci by došlo i v



případě, že by se použil podíl signálů popsany dle obr. 11 a křivka měla uprostřed vrchol. Na druhé straně, v případě wolframu intenzita 1503 signálu z BF2 žádný vrchol uprostřed nemá. Proto lze intenzitu 1503 signálu z BF2 při kontrole  
5 tloušťky plátku použít. Jak je popsáno výše, v závislosti na základním prvku vzorku se mění i regiony vybírané z regionů 201 až 205, jichž lze nebo nelze použít. Ovšem i v případě, v němž se vypočtou dvě tloušťky plátku, jako jsou T1 a T2 v případě signálu z BF2 z uhlíku, lze, pokud v blízkosti  
10 regionu existuje region jiného prvku, provést výpočet tloušťky plátku s použitím filtrace nebo podobného postupu, jímž se na základě předpokladu, že v průběhu zpracování iontovým svazkem apod. nedojde k výrazné změně v rozložení tloušťky plátku, vybere hodnota bližší výsledku výpočtu  
15 tloušťky plátku v blízkém regionu jiného prvku. Konkrétně řečeno, pro použití při kontrole tloušťky plátku je třeba z regionů 201 až 205 důležité vybrat ty nejvhodnější. Například, na obr. 16 je ukázán případ uhlíku, kdy intenzita 1601 signálu z DF3 (signál z regionu 205) klesne v regionu  
20 1602 malých tlouštěk téměř na nulu. Pokud by byl signál z DF3 v tomto případě použit jako jmenovatel, jak je ukázáno na obr. 11, došlo by k dělení nulou a kontrolu tloušťky plátku by tudíž nebylo možno provést. Zatímco intenzita 1603 signálu z DF2 (signál z regionu 204), který se nachází v sousedství a  
25 na vnitřní straně vůči DF3, má i v regionu 1602 malých tlouštěk dostatečnou velikost intenzity signálu. Proto je při dělení žádoucí namísto DF3 dle obr. 11 použít jako jmenovatele DF2. Jak je popsáno, použití jiného regionu (toho nacházejícího se například na vnitřní straně) jako  
30 jmenovatele tam, kde aktuální signál poklesne například pod předem určenou intenzitu  $A_c$  signálu, je velmi účinné. Region, který se má použít pro dělení, lze určit předem s ohledem na určitý prvek nebo může být region změněn na jiný, když intenzita signálu poklesne pod předem určenou intenzitu  $A_c$   
35 signálu. Podobně, na obr. 17 je ukázán příklad, v němž k

problému dojde v případě wolframu. V tomto případě intenzita 1701 signálu z BF1 (signál z regionu 201) poklesne téměř na nulu v regionu 1702 velkých tloušťek. Pokud by byl signál z BF1 použit jako čítec dle obr. 11, výsledkem dělení by byla

5 téměř nula a kontrolu tloušťky plátku by nebylo možno provést. Na druhé straně, intenzita 1703 signálu z BF2 (signál z regionu 202), který se nachází v sousedství a na vnější straně vůči BF1, má i v regionu 1702 velkých tloušťek dostatečnou velikost intenzity signálu. Proto je při dělení

10 žádoucí namísto BF1 dle obr. 11 použít jako čitatele BF2. Jak je popsáno, použití jiného regionu (toho nacházejícího se například na vnější straně) jako čitatele tam, kde aktuální signál poklesne například pod předem určenou intenzitu  $A_w$  signálu, je velmi účinné. Region, který se má použít pro

15 dělení, lze určit předem s ohledem na určitý prvek nebo může být region změněn na jiný, když intenzita signálu poklesne pod předem určenou intenzitu  $A_w$  signálu.

[0038] Pro výše zmíněný výběr intenzit signálu, který

20 je založen na informaci o prvku, je potřeba před kontrolou tloušťky plátku získat onu informaci o prvku. Informaci o prvku lze získat například ze signálu RTG detektoru 115 na obr. 1. Konkrétně řečeno, prvek regionu lze identifikovat pomocí ozáření vzorku 101 elektronovým paprskem 109 a

25 zjištění RTG záření generovaného ozářeným regionem. Tedy, skenováním příčného řezu vzorku 101 elektronovým paprskem 109 lze získat obraz mapy chemického složení ukázaný na obr. 18. Prvky jsou zde zobrazeny pomocí různých barev a každý z regionů 1801, 1802, 1803, 1804 a 1805 je tvořen jiným prvkem.

30 Ačkoliv to na obr. 18 není znázorněno, pomocí kontrastu nebo podobně může být zobrazena obsahová hustota každého z prvků. RTG detekci pro získání mapy chemického složení lze například provádět současně se zjišťováním signálů transmisního elektronového detektoru dle obr. 2 v každém z regionů 201 až

35 205. Tloušťku tenkého plátku tak lze počítat téměř v reálném

čase tím, že se z regionů 201 až 205 vyberou ty detekční regiony, které jsou pro kontrolu tloušťky tenkého plátku nejvhodnější, zároveň se RTG detekcí získávají informace o prvku a výpočetním zpracováním se zjišťuje poměr intenzit signálů vybraných regionů. Ačkoliv je zde popsáno získávání informací o prvku pomocí RTG detekce, stejným způsobem lze informace o prvku získávat i v případech, kdy se použijí prostředky odlišné, například spektroskopie ztracené energie, spektroskopie energie odražených elektronů a podobně, přičemž získané informace o prvku mohou být použity jako informace pro kontrolu tloušťky plátku.

[0039] Navíc existují případy, kdy je základní prvek vzorku 101 díky jeho konstrukci znám, například v případě polovodičové součástky apod. V takovém případě lze uživateli dovolit, aby mohl prvek předem specifikovat. Například, uživateli je dovoleno specifikovat region 1901 nebo region 1902 na grafickém uživatelském rozhraní (GUI - Graphic User Interface), které ukazuje obraz vytvořený sekundárními elektrony, odraženými elektrony nebo transmisními elektrony při skenování elektronovým paprskem 109, zadáním základního prvku regionu 1901 do zadávacího pole 1903 prvku. Na obr. 19 je ukázán příklad, v němž je z rozbalovací nabídky vybrán křemík (Si). Z regionů 201 až 205 tak mohou být automaticky vybrány ty regiony, které jsou pro křemík při kontrole tloušťky plátku v regionu 1901 nejvhodnější (například se vybere region 201 jako čítec a region 205 jako jmenovatel, apod.). Takové ruční zadávání základních druhů rovněž umožňuje odstranit RTG detektor 115 a řídicí jednotku 116 RTG detektoru dle obr. 1 z konfigurace zařízení.

[0040] Ve výše uvedeném popisu se z důvodů jednoduchosti popisu předpokládá, že energie ozařovacích elektronů je konstantní (například 30 kV), ale energii ozařovacích elektronů lze i měnit. Ve skutečnosti se objem

transmisních elektronů mění v závislosti na energii ozařovacích elektronů a mění se i vlastní signály připadající na regiony 201 až 205 detektoru 206. Konkrétně řečeno, intenzity signálů ukázané na obr. 7, obr. 8, obr. 9, obr. 10, 5 obr. 11, obr. 14, obr. 15, obr. 16, obr. 17 apod. se mění rovněž v závislosti na energii ozařovacích elektronů. Obecně platí, že když se energie ozařovacích elektronů zmenší, intenzita signálu pro všechny transmisní elektrony poklesne, ale intenzity signálů z regionů 201 až 205 nepoklesnou ve 10 stejných poměrech. Velikost poklesu je větší v objemu transmisních elektronů v blízkosti nebo v regionu 201 (v okolí středu). Proto, když se energie ozařovacích elektronů změní, je výhodné v závislosti na energii ozařovacích elektronů změnit kalibrační křivky odpovídající obr. 7, obr. 15 obr. 8, obr. 9, obr. 10, obr. 11, obr. 14, obr. 15, obr. 16, obr. 17 apod. a také změnit regiony 201 až 205 použité pro výpočet. Ovšem postup výběru pro výpočet nejvhodnějšího regionu zůstává stejný jako postup popsany výše. Signál, který bude nejcitlivější na změnu tloušťky plátku, lze získat 20 v případě, že dělení se provede se signály z regionů, z nichž v jednom signál se zmenšováním tloušťky tenkého plátku monotónně roste s největší strmostí a ve druhém signál se zmenšováním tloušťky tenkého plátku monotónně klesá s největší strmostí. Takový případ znamená optimální výběr 25 regionů. V případě regionu nebo prvku, v němž však může být intenzita signálu příliš malá, se, jak je popsáno výše, vybere druhý kandidátský region. Takovým způsobem lze dosáhnout přesné kontroly tloušťky tenkého plátku i v případě, že se energie ozařovacích elektronů mění.

30

[0041] Na obr. 20 až obr. 26 je ukázán způsob zobrazování tloušťky plátku v případě, že informace o tloušťce plátku byly získány výše popsáným způsobem.

[0042] Sekundární elektronový obraz 2001 na obr. 20 je obrazem příčného řezu vzorkem 101. Ačkoliv je zde použit obraz získaný pomocí sekundárních elektronů, jen na sekundární elektronový obraz se typ obrazu neomezuje, lze  
5 použít transmisní elektronový obraz, odražený elektronový obraz nebo obraz mapy chemického složení apod. Je výhodné použít obraz vzorku 101 získaný skenováním s elektronovým paprskem 109. V takovém případě totiž nedochází k chybám v poloze regionů specifikovaných při kontrole tloušťky plátku,  
10 protože obraz obsahuje stejné informace související se skenováním jako elektronový paprsek 109 použitý při kontrole tloušťky plátku. Když se kurzorem 2002 vybere poloha tloušťky plátku, která se má kontrolovat, tloušťka plátku vypočtená výše popsaných způsobem se zobrazí v zobrazovacím poli 2003  
15 tloušťky plátku.

[0043] Dále, k ukazování hodnoty tloušťky plátku v místě odpovídajícím poloze kurzoru je nakonfigurováno stupnicové zobrazovací pole 2101 s ručkou dle obr. 21.  
20 Uživatel tak může změny v tloušťce tenkého plátku rozpoznávat vizuálně, kdy pohybuje kurzorem po sekundárním elektronovém obrazu nebo podobném a zároveň kontroluje výchylku ručky. Pokud se navíc současně se zpracováním iontovým svazkem 104 provádí kontrola tloušťky plátku na stupnicovém zobrazovacím  
25 poli 2101, lze zmenšování tloušťky plátku v průběhu zpracování vizuálně pozorovat na měnící se výchylce ručky. V takovém případě lze snadno odvodit aktuální stav zpracování.

[0044] Navíc je také možné ukazovat vyskakovací  
30 zobrazení, které je naznačeno na obr. 22. Bublinou 2201 je pole zobrazené v blízkosti polohy kurzoru, které zobrazuje tloušťku plátku odpovídající poloze kurzoru na sekundárním elektronovém obrazu nebo podobném v podobě numerické hodnoty v bublině. Uživatel tak vidí tloušťku plátku bez toho, že by



musel od sekundárního elektronového obrazu 2001 odvrátit zrak.

[0045] Výše je popsáno, jak se zobrazují informace o  
5 tloušťce plátku v bodě označeném kurzorem. Na druhé straně  
může nastat případ, kdy je žádoucí znát informaci o průměrné  
tloušťce plátku v regionu, který má určitou plochu. Příklady  
zobrazení takového případu jsou ukázány na obr. 23 až obr.  
25.

10

[0046] Na obr. 23 je ukázán příklad numerického  
zobrazení tloušťky plátku ve vybraném regionu. Vybraným  
regionem 2301 na obr. 23 je region, v němž je žádoucí zjistit  
informaci o průměrné tloušťce plátku a jehož velikost a  
15 polohu lze měnit. Například, velikost regionu lze nastavit  
tažením kurzoru a polohu lze měnit kurzorem nebo šipkovými  
klávesami na klávesnici apod. Tloušťka plátku v tomto regionu  
se zobrazuje v zobrazovacím poli 2302 tloušťky plátku.  
Povšimněte si, že zde lze použít také stupnicové zobrazení,  
20 jaké je ukázáno na obr. 24, nebo bublinové zobrazení, jaké je  
ukázáno na obr. 25. Při zpracování příčného řezu iontovým  
svazkem v rovině dojde k náhlé změně tloušťky plátku jen  
ztěží. Tedy, zejména když se má měřit tloušťka plátku  
zpracovávaného iontovým svazkem, lze použitím zobrazení  
25 informace o průměrné tloušťce plátku v oblasti získat  
informaci stabilnější, než by byla informace o bodové  
tloušťce plátku dle obr. 20 až obr. 22.

[0047] Dále, jak je ukázáno například na obr. 26, lze  
30 rozložení tloušťky plátku v odpovídajícím regionu  
sekundárního elektronového obrazu nebo podobného zobrazit  
tím, že se vypočtené tloušťce plátku přiřadí kontrast nebo  
nepravá barva apod. a poté se mění kontrast nebo barva v poli  
2601 rozložení tloušťky plátku. V tomto případě je rozložení  
35 tloušťky plátku v závislosti na poloze okamžitě patrné.

Tloušťku plátku lze například rozpoznat porovnáním zobrazovacího pole 2601 rozložení tloušťky plátku se sloupcovým ukazatelem 2602 kontrastu. V příkladu ukázaném na obr. 26 je vidět, jak se tloušťka plátku směrem vzhůru  
5 zmenšuje a směrem dolů zvětšuje. Povšimněte si, že je rovněž možné zobrazovat správnou numerickou hodnotu apod. stejně jako v případech ukázaných na obr. 20 až obr. 25 tím, že se na zobrazovací pole 2601 rozložení tloušťky plátku umístí kurzor nebo se vybere průměrný region. V takovém případě lze  
10 pozorovat jak celkový trend, tak podrobnou numerickou hodnotu.

[0048] Jak je popsáno výše, regiony použité při kontrole tloušťky plátku se vyberou automaticky z regionů 201  
15 až 205 detektoru 206 transmisního elektronového paprsku v souhlase s chemickým prvkem apod. nebo tloušťkou plátku (velikostí signálu). Je však rovněž důležité, aby uživatel věděl, které regiony byly vybrány. Navíc je výhodné, aby uživatel mohl z regionů 201 až 205 určit ty, které se mají  
20 použít. Na obr. 27 je ukázán příklad GUI zobrazení s přijímacími regiony transmisního elektronového detektoru.

[0049] Zobrazovací pole 2701 čítelového regionu na obr. 27 zobrazuje region, který se ve výpočtu používá jako  
25 čítel. V příkladu ukázaném na obr. 27 je jako vybraný zobrazen signál z BF1 pro region 201. Na druhé straně zobrazovací pole 2702 jmenovatelového regionu zobrazuje region, který se ve výpočtu používá jako jmenovatel. V tomto příkladu je jako vybraný zobrazen signál z DF3 pro region  
30 205. Zatímco jsou vybrané regiony detektoru zobrazovány výše popsaným způsobem, může uživatel rovněž určit, pomocí kurzoru, region detektoru výběrem regionu v zobrazovacím poli 2701 čítelového regionu a zobrazovacím poli 2702 jmenovatelového regionu. Navíc, jak je ukázáno na příkladu  
35 zobrazovacího pole 2801 jmenovatelového regionu na obr. 28,

jako jmenovatel apod. lze použít i součet více regionů. To samé platí i pro zobrazovací pole číselového regionu.

[0050] Polovodičové zařízení zahrnuté v řídicí  
5 jednotce 114 transmisního elektronového detektoru provádí, v  
tomto příkladu, výpočetní zpracování signálů z vybraných z  
regionů 201 až 205. Tím je umožněno vysokorychlostní  
zpracování v reálném čase. Na druhé straně lze výpočetní  
zpracování namísto výše popsaného hardwarového zpracování  
10 provádět jako softwarové zpracování například v centrálním  
procesoru 117. V takovém případě lze změnou programu přidávat  
mnoho různých operací výpočetního zpracování.

[0051] Jak je popsáno výše, zařízení se svazkem  
15 nabitých částic podle provedení 1 je schopno přesně  
kontrolovat tloušťku plátku vzorku, který se má zpracovat  
iontovým svazkem, čímž umožňuje vysoce přesné pozorování a  
zhotovování vzorku pro analýzu.

## 20 Provedení 2

[0052] V tomto provedení je popsáno zařízení se  
svazkem nabitých částic, které umí z původního vzorku pomocí  
zpracování iontovým svazkem extrahovat jemný díl vzorku. Níže  
jsou popsány zejména rozdíly oproti provedení 1.

25

[0053] Na obr. 29 je ukázán příklad konfigurace  
zařízení se svazkem nabitých částic opatřeného znakem  
extrakce jemného dílu vzorku. Původní vzorek 2902, jako je  
polovodičový wafer nebo čip nebo těleso se může například  
uložit na platformu 2901 původního vzorku. Na špičce  
30 ovládacího mechanismu 2904 sondy je přidržována sonda 2903  
pro extrakci dílu vzorku z původního vzorku 2902. Řídicí  
jednotka 2905 sondy řídí polohu apod. sondy. Řídicí jednotka  
2907 zdroje plynu řídí zdroj 2906 pomocného plynu, který

dodává pomocný plyn používaný při napařování pomocí iontového svazku a leptání pomocí iontového svazku. Centrální procesor 117 řídí řídicí jednotku 2905 sondy, řídicí jednotku 2907 zdroje plynu apod. Povšimněte si, že namísto sondy lze použít  
5 mikročelisti, které budou vzorek přidržovat mezi sebou, nebo mikromanipulátor, který bude schopen díl vzorku přidržovat.

[0054] S odkazy na obr. 30 a obr. 31 bude popsáno zhotovení tenkého plátku z jemného dílu vzorku extrahovaného  
10 pomocí zpracování iontovým svazkem. Na obr. 30 je ukázán postup extrakce jemného dílu vzorku.

[0055] (a, b) Nejprve se iontovým svazkem 3001 provede zpracování tří obdélníkových děr 3002, 3003 a 3004  
15 okolo (ve směrech tří stran) požadovaného příčného řezu v původním vzorku 2902 uloženém na platformě 2901 původního vzorku.

[0056] (c) Dále se nakloněním platformy 2901  
20 původního vzorku a provedením zpracování drážky 3005 vyrobí díl vzorku 3007, který je tak k původnímu vzorku 2902 upevněn pouze upevňovací částí 3006.

[0057] (d, e) Dále se platforma 2901 původního vzorku  
25 z nakloněné polohy vrátí do původní polohy a špička sondy 2903 se ovládacím mechanismem 2904 uvede do styku s dílem 3007 vzorku. Poté se ozařováním regionu, včetně špičky sondy, při současném přivádění nanášecího plynu 3008 ze zdroje 2906 pomocného plynu iontovým svazkem vytvoří nanosená vrstva 3009  
30 (v případě tohoto provedení vrstva wolframu), čímž se sonda 2903 připojí ke dílu 3007 vzorku.

[0058] (f, g) Po spojení dílu 3007 vzorku a sondy 2903 se díl 3007 vzorku odstraněním nosné části 3006 pomocí  
35 zpracování iontovým svazkem oddělí od původního vzorku 2902.

[0059] (h) Takto oddělený díl 3007 vzorku se pohybem sondy uvede do styku s nosičem 3010 vzorku. Tento nosič 3010 vzorku se uloží na vzorkovou platformu 102 ukázanou na obr. 5 29. Poté se ve styčné části stejným způsobem, jaký je popsán výše, vytvoří nanesená vrstva 3011, kterou se díl 3007 vzorku připojí ke vzorkovému nosiči 3010.

[0060] (i) Po spojení dílu 3007 vzorku a vzorkového 10 nosiče 3010 se špička sondy vystaví zpracování iontovým svazkem, čímž se sonda od dílu vzorku oddělí. Díl 3007 vzorku je tak nadále na sondě nezávislý.

[0061] Dále bude s odkazy na obr. 31 popsáno 15 zhotovení tenkého plátku.

[0062] (a, b) Požadovaný příčný řez je rovnoběžně ozařován iontovým svazkem 3001 a jím dále zpracováván, dokud se nedosáhne okolí požadovaného příčného řezu. 20

[0063] (c) Dále, protilehlá strana požadovaného příčného řezu je ozařována iontovým svazkem 3001 a jím dále zpracovávána, dokud se nedosáhne okolí požadovaného příčného řezu. 25

[0064] Zpracování FIB svazkem se provádí po obou stranách, přičemž se zpracování popsané v krocích (b) a (c) opakují, dokud se zpracování cílové tenkého plátku nedokončí. Zhotovení vzorku s tenkým plátkem, který má požadovanou 30 tloušťku, je umožněno ozařováním části tenkého plátku elektronovým paprskem a kontrolou tloušťky plátku, jak je ukázáno v provedení 1, v průběhu zpracování tenkého plátku nebo mezi kroky zpracování tenkého plátku. Navíc, v případě, že se zpracování tenkého plátku ukázané v (b) a (c) dle obr. 35 31 provádí automaticky, se i zpracování ukázané v (b) a (c)

dle obr. 31 opakuje automaticky, dokud se tloušťka plátku nezmenší na tloušťku předem nastavenou, kdy zpracování se ukončí, tj. ozařování iontovým svazkem se zastaví, když se kontrolou zjištěná tloušťka tenkého plátku shodne s předem nastavenou tloušťkou tenkého plátku.

[0065] Protože díl vzorku, který je ukázán v tomto provedení, může být přidržován na tenkém nosiči 3010 vzorku, je pravděpodobnost toho, že by díl vzorku přerušoval průchod elektronového paprsku pro kontrolu tloušťky plátku, menší. Přesné kontroly tloušťky plátku tak lze provádět snadno. Takové zmenšení je rovněž výhodné při získávání informací o chemickém složení prostřednictvím zjišťování RTG záření popsaného v provedení 1. Konkrétně, možnost toho, že by v důsledku ozařování okolního regionu rozptýlenými elektrony byla získána nesprávná informace o prvku, je menší. Lze tak provádět přesnou kontrolu tloušťky plátku. Navíc, operaci ke zpracování vzorku, který bude mít v požadované pozorované části přesnou tloušťku plátku, lze provádět v jediné vakuové vzorkové komoře. Zhotovení tenkovrstvého vzorku tak lze s jistotou provádět i se vzorkem, který své vlastnosti v reakci s atmosférou mění. Tím lze zlepšit i produktivitu zpracování.

### Provedení 3

[0066] V tomto provedení je popsáno zařízení se svazkem nabitých částic, které k dokončovacímu zpracování tenkého plátku používá plynový iontový svazek. Níže jsou popsány zejména rozdíly oproti provedení 1 a provedení 2.

[0067] Na obr. 32 je ukázán příklad konfigurace zařízení se svazkem nabitých částic opatřeného plynovým iontovým svazkem. Řídící jednotka 3202 optického systému plynového iontového svazku řídí optický systém 3201 plynového iontového svazku, který ozařuje vzorek 101 plynovým iontovým svazkem. Centrální procesor 117 řídí řídicí jednotku 3202

optického systému plynového iontového svazku stejně jako jiné řídicí jednotky.

[0068] V současné době se jako iontový svazek 104,  
5 kterým se zpracovávají vzorky, používá galiový iontový svazek. Galiový iontový svazek má vynikající konvergenční vlastnosti a je tudíž při mikrofabrikaci velmi účinný. Naproti tomu galium je těžký kov, takže přítomnost zbytkového galia na zpracovaném vzorku je při analýze apod. nežádoucí.  
10 Navíc, pro jemné zaostření iontového svazku jsou potřebná vysoká urychlení iontů, ale při provádění zpracování vysoce urychleným iontovým svazkem vzniká vrstva, která se nazývá poškozenou vrstvou. V případě, že vzorek, který se má zpracovat, je například z křemíkových krystalů, dojde při  
15 zpracování takového vzorku galiovým iontovým svazkem, který je urychlen přibližně na 30 kV, k rozbití krystalů a vzniku amorfní vrstvy s tloušťkou přibližně 30 nm na každé straně vzorku.

20 [0069] Pro odstranění takové těžkým kovem kontaminované vrstvy lze účinně využít dokončovací zpracování, které využívá svazek málo urychlených iontů plynu. Jako plynových iontů se často používá iontů plynu jako například argon, xenon, apod. Dokončovací zpracování se  
25 provede ozářením tenkého plátku málo urychlenými plynovými ionty s energií rovnou nebo nižší než 1 kV.

[0070] Na obr. 33 je ukázáno, jak se výše zmíněné dokončovací zpracování provede. Tenký plátek vzorku se  
30 ozařuje plynovým iontovým svazkem 3301, který dopadá do regionu 3302. Protože je, na rozdíl od galiového iontového svazku, obtížné plynový iontový svazek zaostřit, je plynovým iontovým svazkem ve finálním dokončovacím kroku, po zhotovení tenkého plátku s použitím galiového iontového svazku,  
35 ozařována širší oblast. V takovém případě, kdy je obtížné





Seznam vztahových značek**[0074]**

101, 501, 601, 1201, 1301	Vzorek
102	Vzorková platforma
103	řídící jednotka polohy vzorku
104, 3001	iontový svazek
105	optický systém iontového svazku
106	řídící jednotka optického systému iontového svazku
107	sekundární elektronový detektor
108	řídící jednotka sekundárního elektronového detektoru
109	elektronový paprsek
110	optický systém elektronového paprsku
111	řídící jednotka optického systému elektronového paprsku
112, 502, 1202	transmisní elektronový paprsek
113	transmisní elektronový detektor
114	řídící jednotka transmisního elektronového detektoru
115	RTG detektor
116	řídící jednotka RTG detektoru
117	centrální procesor
118	zobrazovací jednotka
201 až 205, 301 až 305, 1801 až 1805, 1901, 1902, 3302	Region
206	detektor
701, 702, 801 až 805, 901, 902, 1001, 1002, 1101, 1401 až 1403, 1501 až 1503, 1601, 1603, 1701, 1703	intenzita signálu
1602	tenký region
1702	silný region
1903	zadávací pole prvku
2001	sekundární elektronový obraz

2002	kurzor
2003, 2302	zobrazovací pole tloušťky plátku
2101	stupnicové zobrazovací pole
2201	bublina
2301	sledovací region
2601	zobrazovací pole rozložení tloušťky plátku
2602	sloupcový ukazatel kontrastu
2701	zobrazovací pole čitatelového regionu
2702, 2801	zobrazovací pole jmenovatelového regionu
2901	platforma původního vzorku
2902	původní vzorek
2903	sonda
2904	ovládací mechanismus sondy
2905	řídící jednotka sondy
2906	zdroj pomocného plynu
2907	řídící jednotka zdroje pomocného plynu
3002 až 3004	obdélníková díra
3005	drážka
3006	upevňovací část
3007	díl vzorku
3008	nanášecí plyn
3009, 3011	nanesená vrstva
3010	nosič vzorku
3201	optický systém plynového iontového svazku
3202	řídící jednotka optického systému plynového iontového svazku
3301	plynový iontový svazek

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Zařízení se svazkem nabitých částic obsahující:  
optický systém elektronového paprsku nakonfigurovaný k  
5 vyzařování elektronového paprsku;  
vzorkovou platformu, na níž se má uložit vzorek; a  
transmisní elektronový detektor nakonfigurovaný ke  
zjišťování transmisních elektronů,  
v němž  
10 transmisní elektronový detektor obsahuje detekční část  
rozdělenou do množství regionů,  
zařízení se svazkem nabitých částic obsahuje výpočetní  
mechanismus nakonfigurovaný k vypočítávání poměru intenzit  
transmisního elektronového paprsku zjištěného prvním regionem  
15 z množství regionů a transmisního elektronového paprsku  
zjištěného druhým regionem z množství regionů; a  
zobrazovací jednotku nakonfigurovanou k zobrazování  
tloušťky plátku vzorku.
- 20 2. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 1, v  
němž výpočetní mechanismus intenzitu transmisního  
elektronového paprsku zjištěného regionem pro zjišťování  
transmisního elektronového paprsku v malém úhlu rozptylu dělí  
intenzitou transmisního elektronového paprsku zjištěného  
25 regionem pro zjišťování transmisního elektronového paprsku ve  
velkém úhlu rozptylu.
3. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 1, v  
němž výpočetní mechanismus mění první region a/nebo druhý  
30 region v případě, když detekce transmisního elektronového  
paprsku zjišťovaná prvním regionem a/nebo druhým regionem  
splní předem určenou podmínku.

4. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž výpočetní mechanismus mění první region a/nebo druhý region na základě základního chemického prvku té části vzorku, která je elektronovým paprskem ozařována.

5

5. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 1, dále obsahující spektroskopický detektor nakonfigurovaný ke zjišťování základního chemického prvku vzorku.

10 6. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 5, v němž spektroskopickým detektorem je RTG detektor.

15 7. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 1, dále obsahující vstupní zařízení nakonfigurované k zadávání základního chemického prvku vzorku.

8. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž zobrazovací zařízení zobrazuje průměrnou tloušťku plátku v požadovaném regionu vzorku.

20

9. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 1, v němž zobrazovací zařízení zobrazuje rozložení tloušťky plátku v požadovaném regionu vzorku.

25 10. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 1, dále obsahující optický systém iontového svazku nakonfigurovaný k ozařování vzorku iontovým svazkem.

30 11. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 10, v němž optický systém iontového svazku řídí ozařování iontovým svazkem na základě výstupu výpočetního mechanismu.

35 12. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 10, v němž zařízení se svazkem nabitých částic je schopno vyzařování iontového svazku a elektronového paprsku současně.

13. Zařízení se svazkem nabitých částic podle nároku 10,  
dále zahrnující přepravní mechanismus nakonfigurovaný k  
přepřavování dílu vzorku odděleného z původního vzorku  
5 zpracováním iontovým svazkem.

14. Způsob měření tloušťky plátku, způsob obsahuje:  
ozáření vzorku elektronovým paprskem pomocí optického  
systému elektronového paprsku;

10 zjištění transmisního elektronového paprsku, který  
vzorkem prošel, transmisním elektronovým detektorem, který  
zahrnuje detekční část rozdělenou do množství regionů;

vypočtení, výpočetním mechanismem, poměru intenzit  
transmisního elektronového paprsku zjištěného prvním regionem  
15 z množství regionů a transmisního elektronového paprsku  
zjištěného druhým regionem z množství regionů; a

zobrazení tloušťky plátku vzorku zobrazovací jednotkou.

15. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 14, v němž  
20 výpočetní mechanismus intenzitu transmisního elektronového  
paprsku zjištěného regionem pro zjišťování transmisního  
elektronového paprsku v malém úhlu rozptylu vydělí intenzitou  
transmisního elektronového paprsku zjištěného regionem pro  
zjišťování transmisního elektronového paprsku ve velkém úhlu  
25 rozptylu.

16. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 14, v němž  
první region a/nebo druhý region se změní v případě, když  
detekce transmisního elektronového paprsku zjištěná prvním  
30 regionem a/nebo druhým regionem splní předem určenou  
podmínku.

17. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 14, v němž první region a/nebo druhý region se mění na základě základního chemického prvku té části vzorku, která je elektronovým paprskem ozařována.

5

18. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 14, dále obsahující zjištění základního chemického prvku vzorku spektroskopickým detektorem.

10 19. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 18, v němž spektroskopickým detektorem je RTG detektor.

15 20. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 14, dále obsahující zadání základního chemického prvku vzorku výpočetnímu mechanismu pomocí vstupního zařízení.

21. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 14, v němž se zobrazí průměrná tloušťka plátku v požadovaném regionu vzorku.

20

22. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 14, v němž se zobrazí rozložení tloušťky plátku v požadovaném regionu vzorku.

25 23. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 14, dále obsahující vytvoření tenkého plátku ve vzorku ozařováním vzorku iontovým svazkem pomocí optického systému iontového svazku.

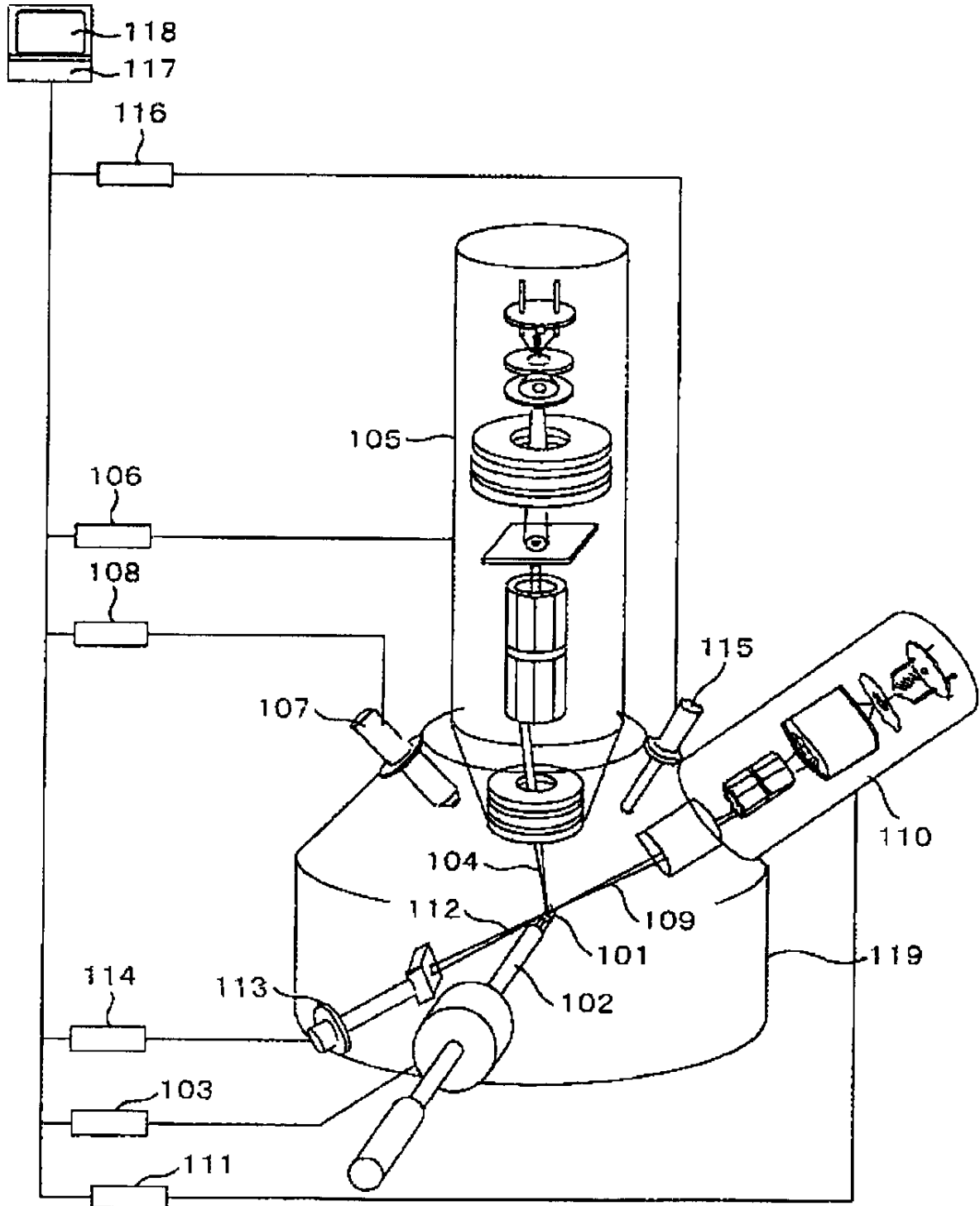
30 24. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 23, v němž optický systém iontového svazku řídí ozařování iontovým svazkem na základě výstupu výpočetního mechanismu.

25. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 23, v němž se

vytváření tenkého plátku vzorku ozařováním iontovým svazkem a měření tenkého plátku ozařováním elektronovým paprskem provádí současně.

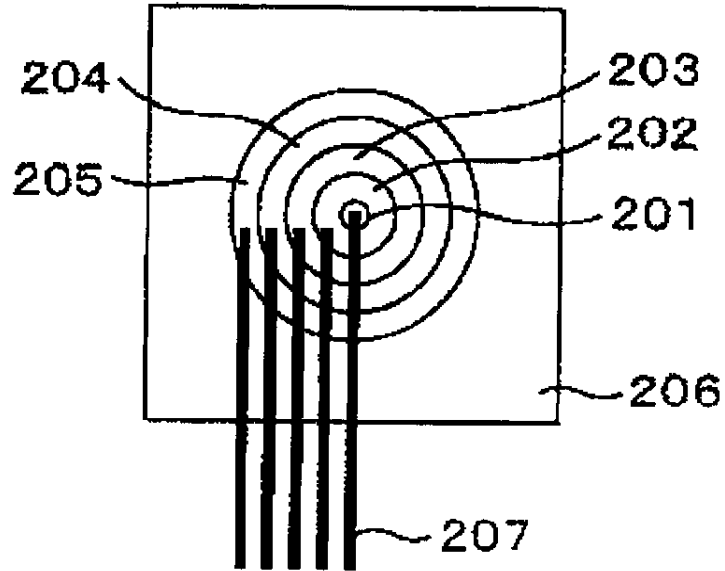
- 5 26. Způsob měření tloušťky plátku podle nároku 23, dále zahrnující měření tloušťky plátku dílu vzorku odděleného z původního vzorku zpracováním iontovým svazkem.

Obr. 1

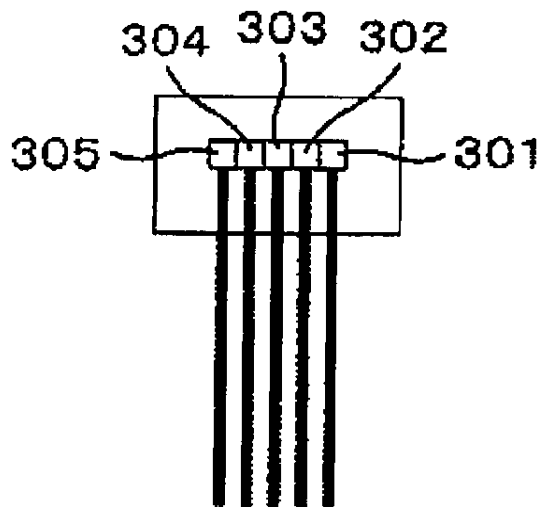




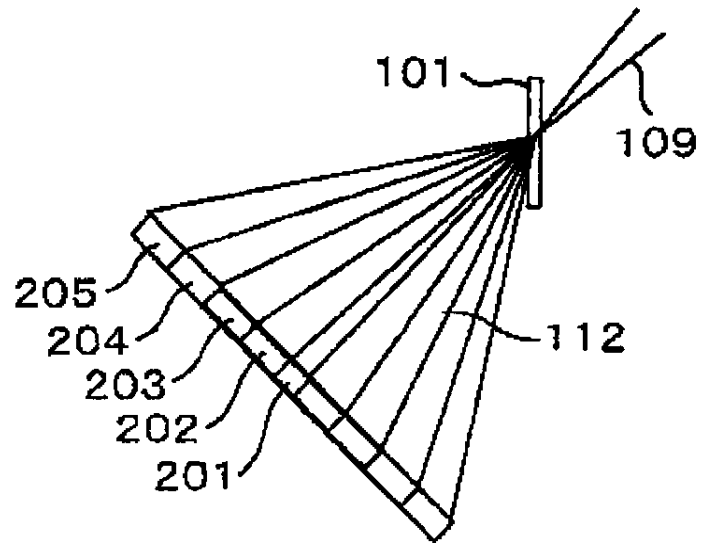
**Obr. 2**



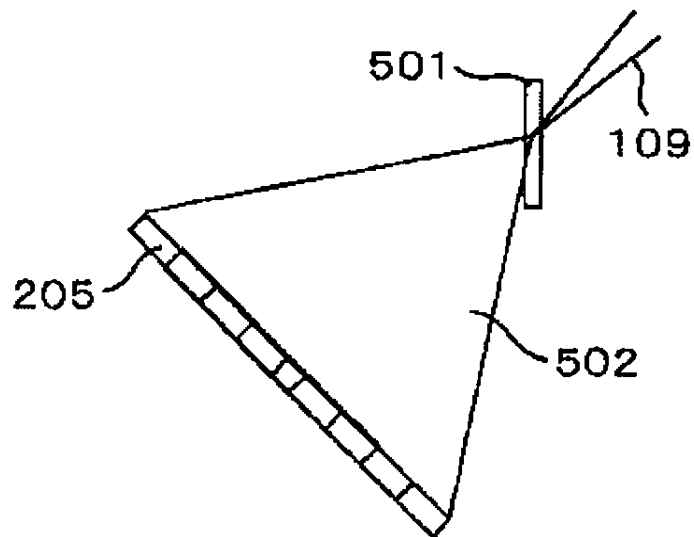
**Obr. 3**



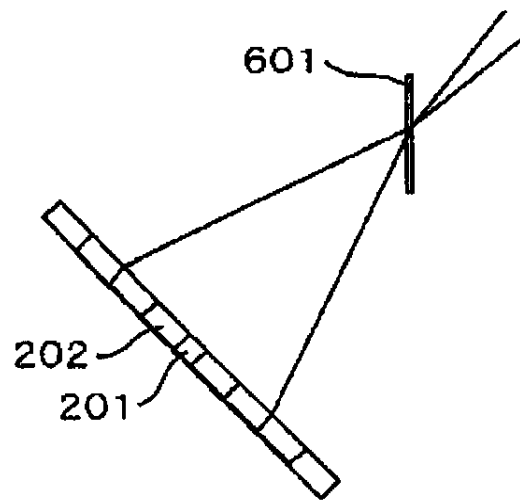
**Obr. 4**



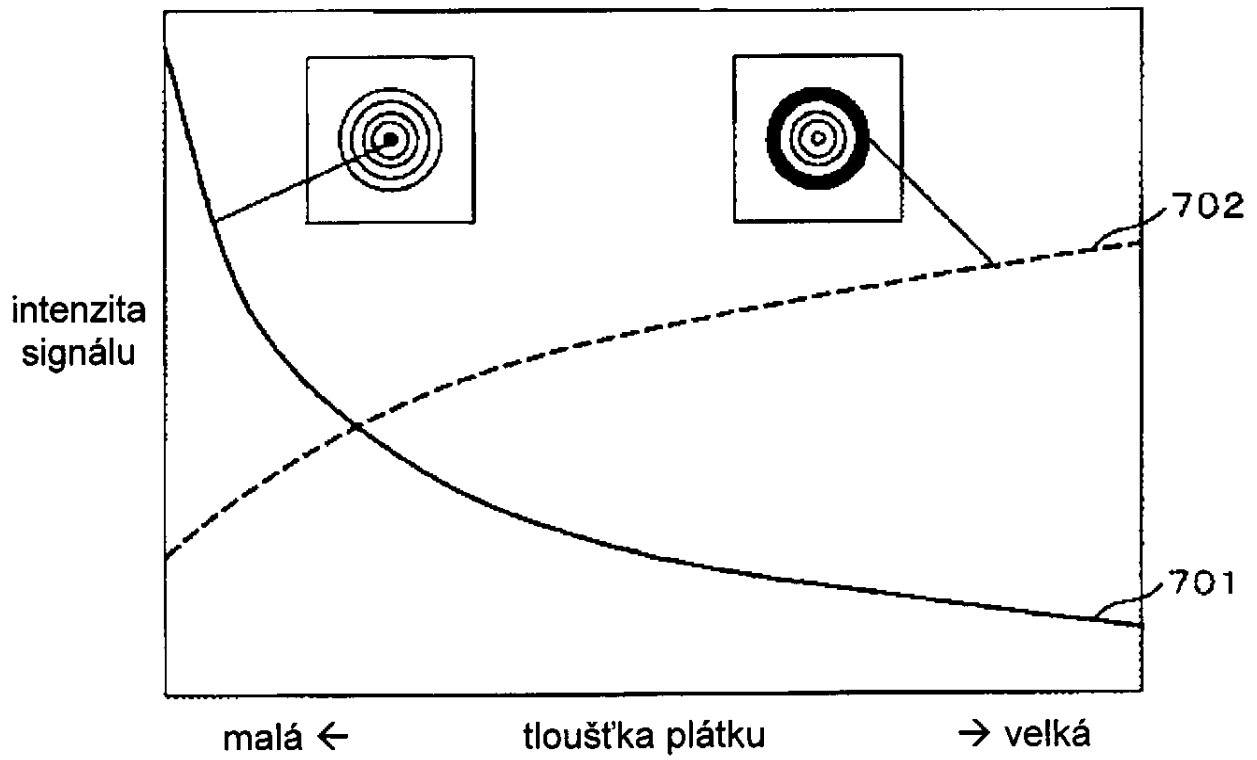
**Obr. 5**



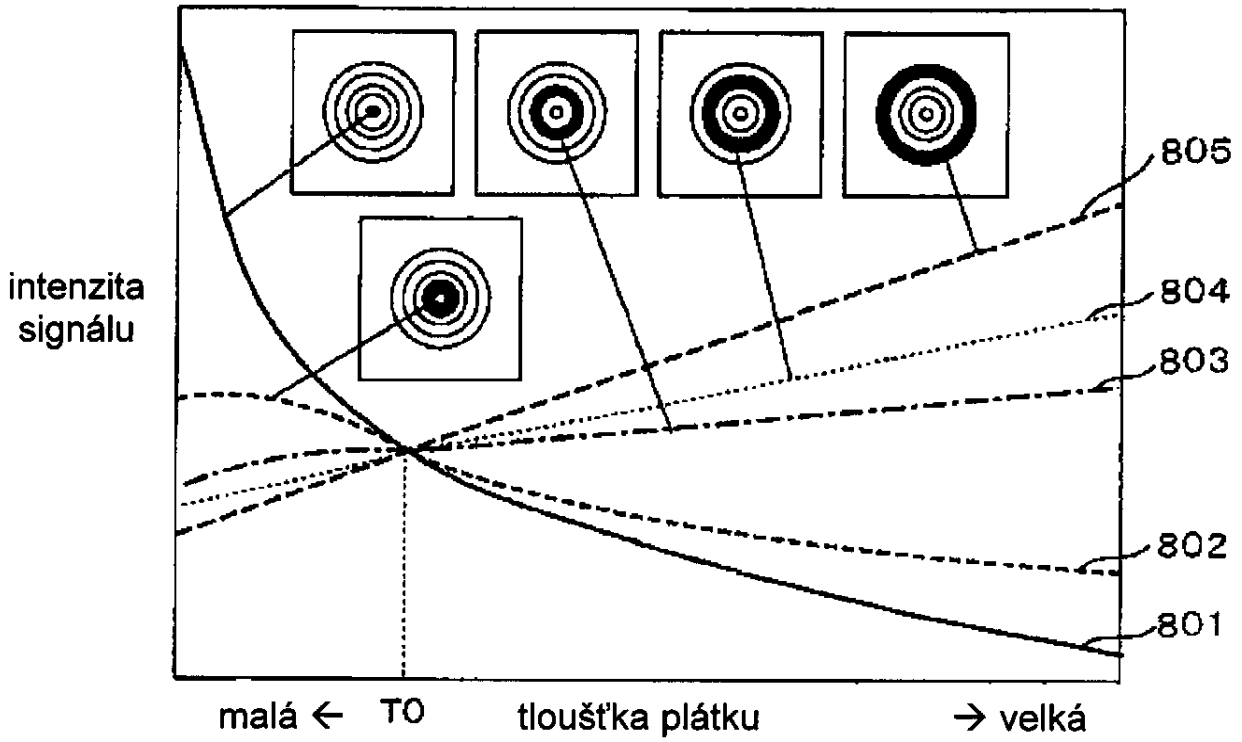
Obr. 6



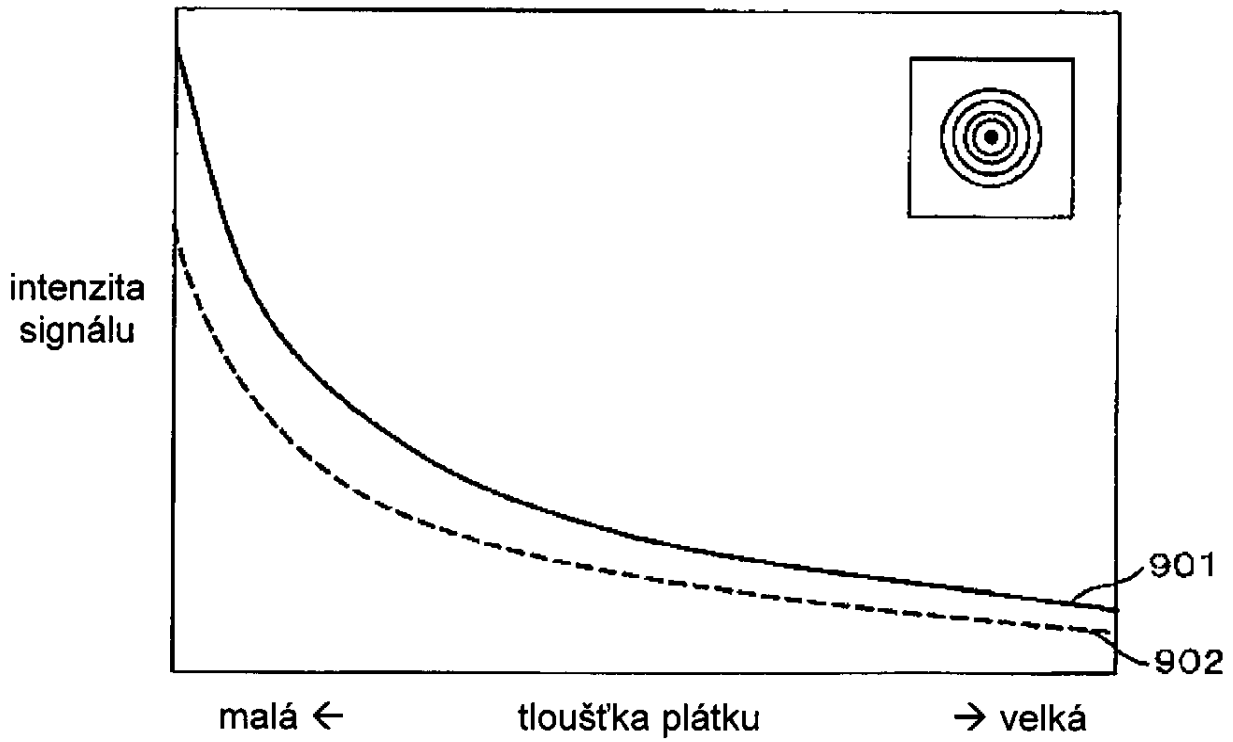
Obr. 7



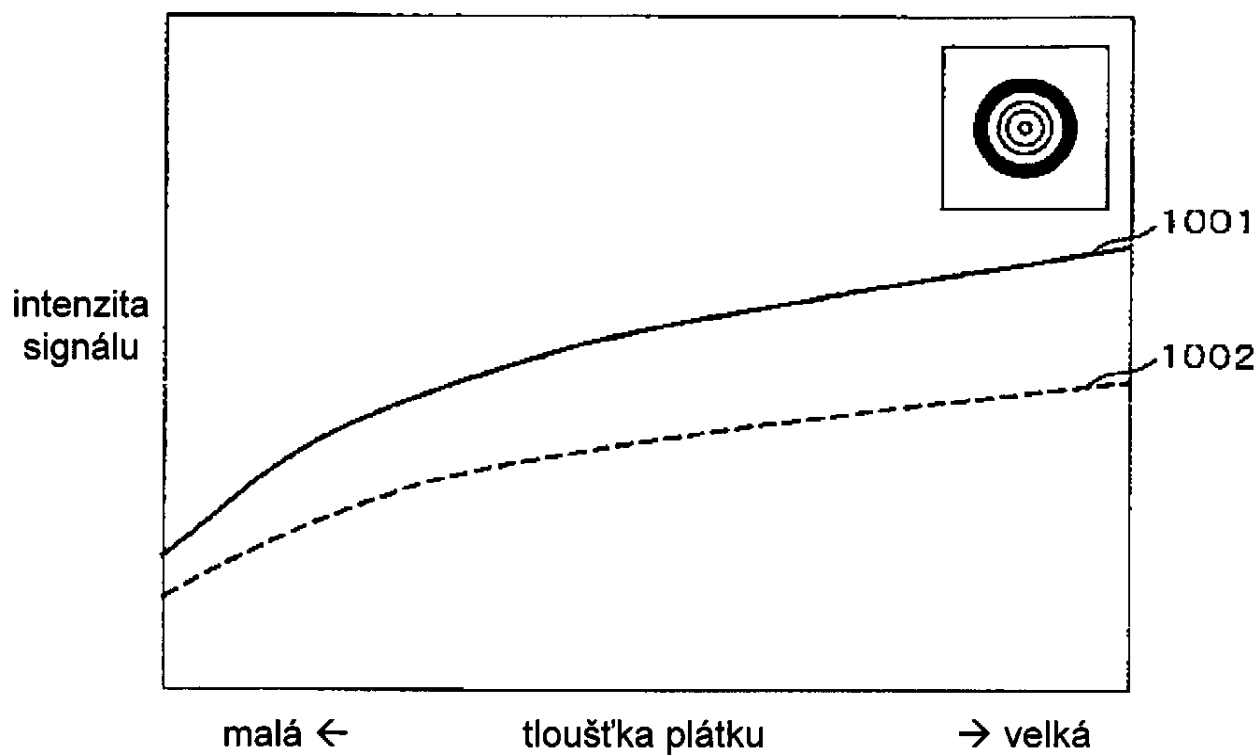
Obr. 8



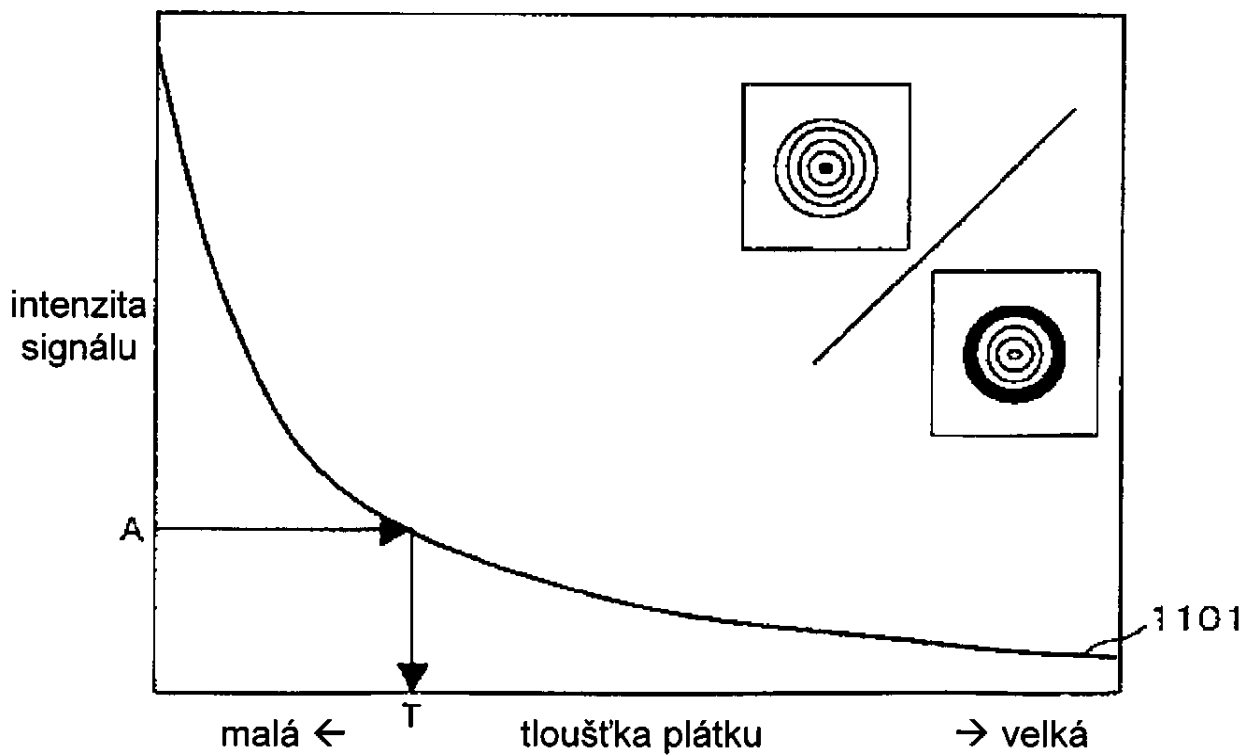
Obr. 9



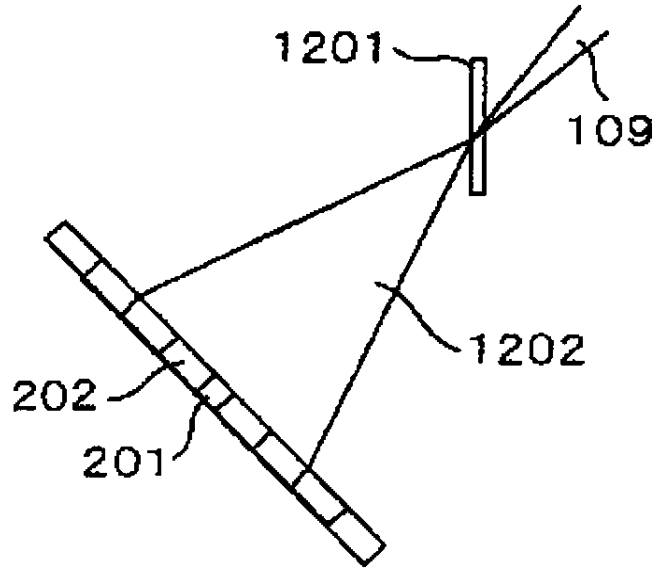
Obr. 10



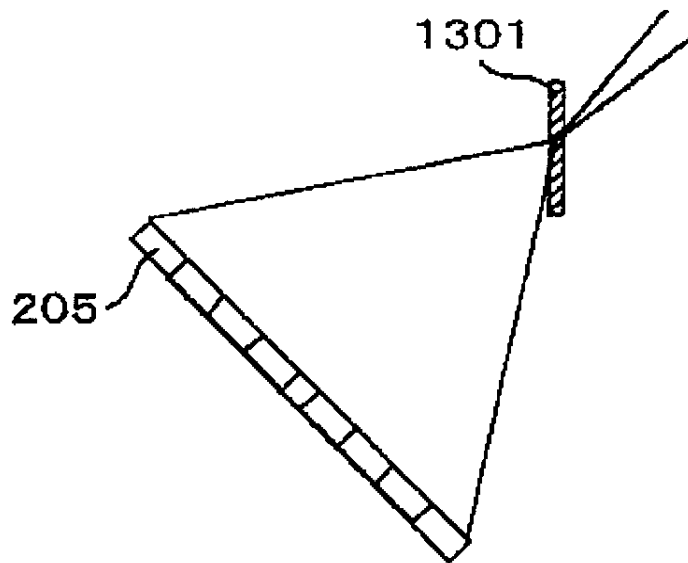
Obr. 11

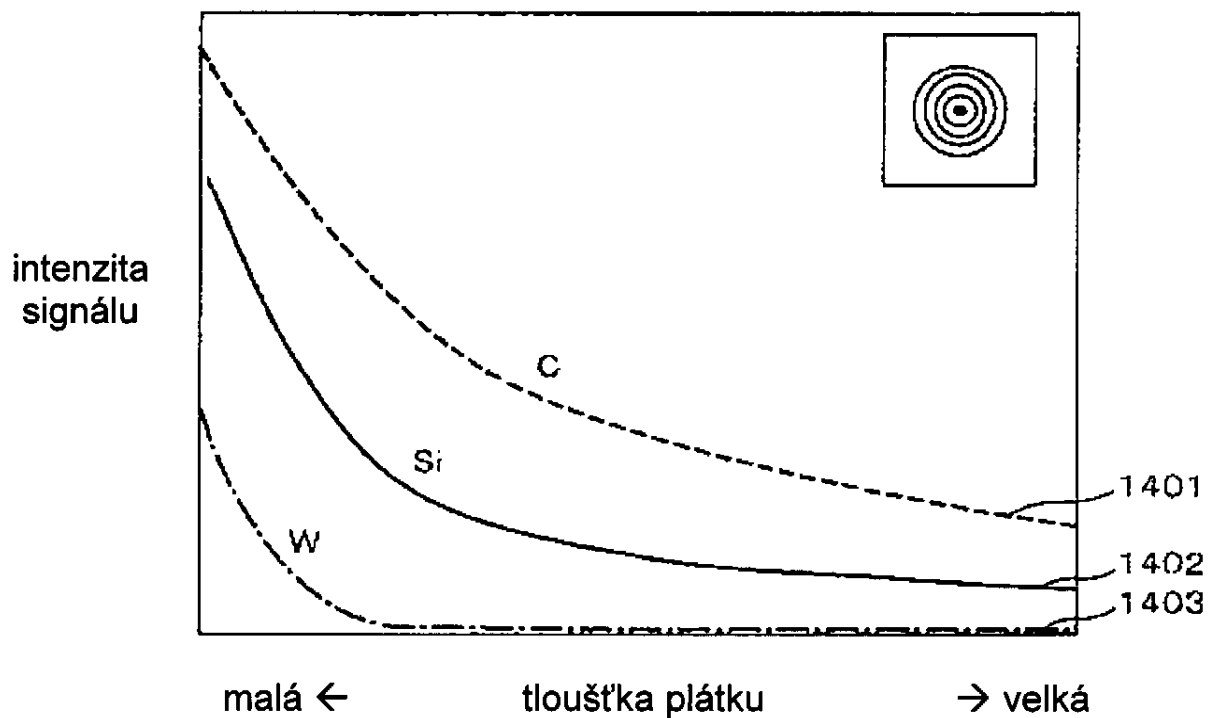
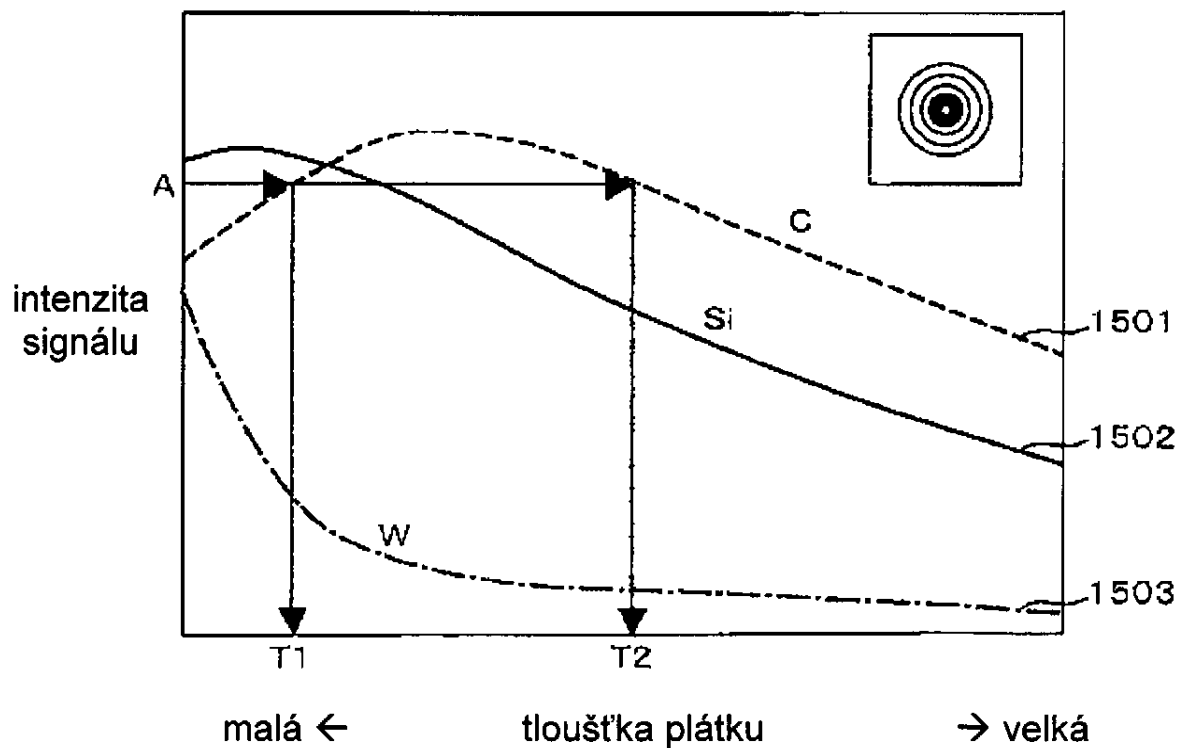


**Obr. 12**

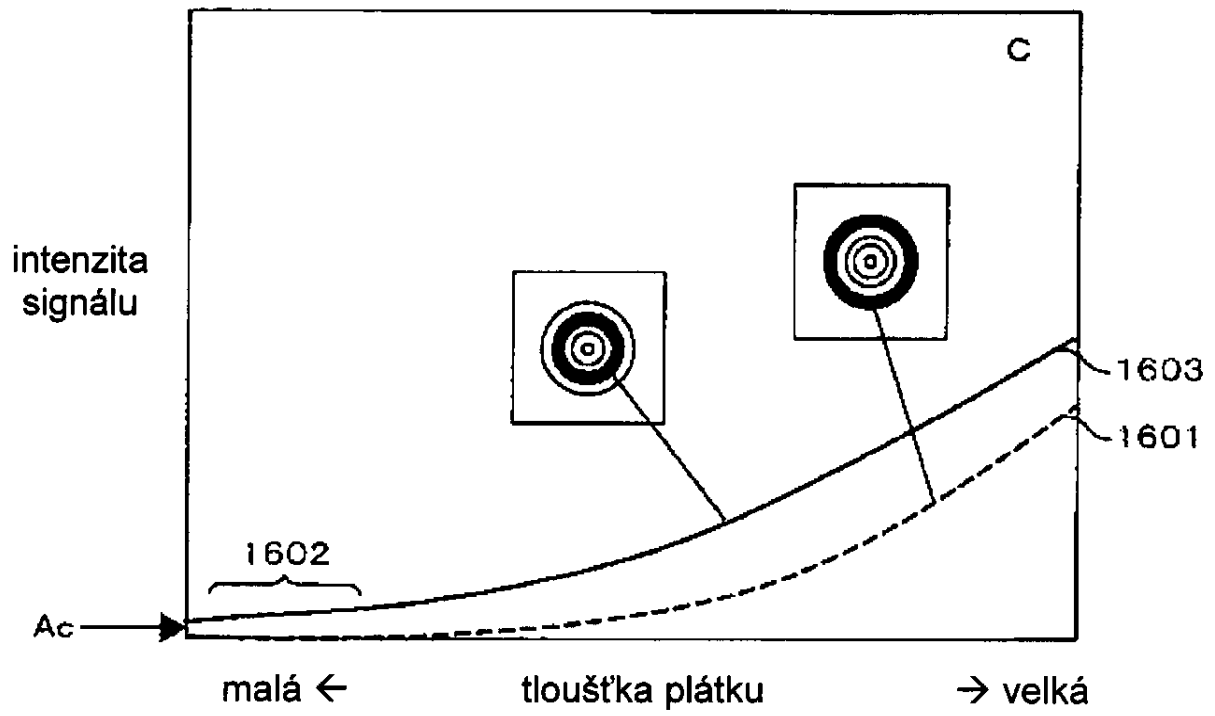


**Obr. 13**

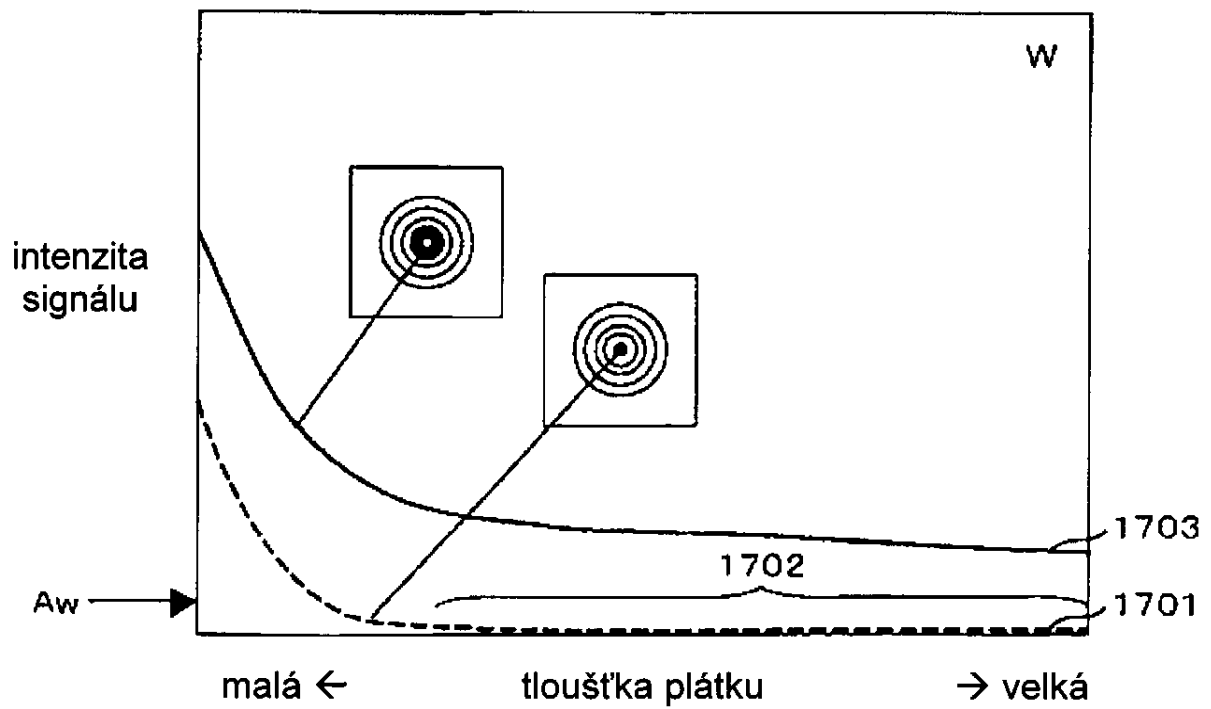


**Obr. 14****Obr. 15**

Obr. 16

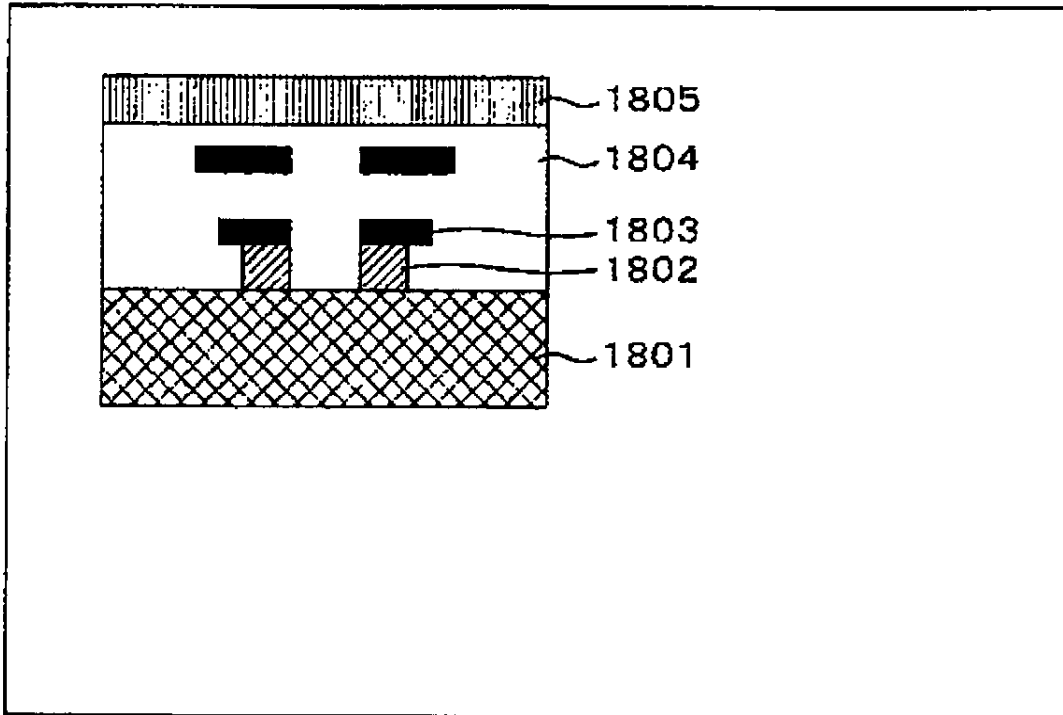


Obr. 17

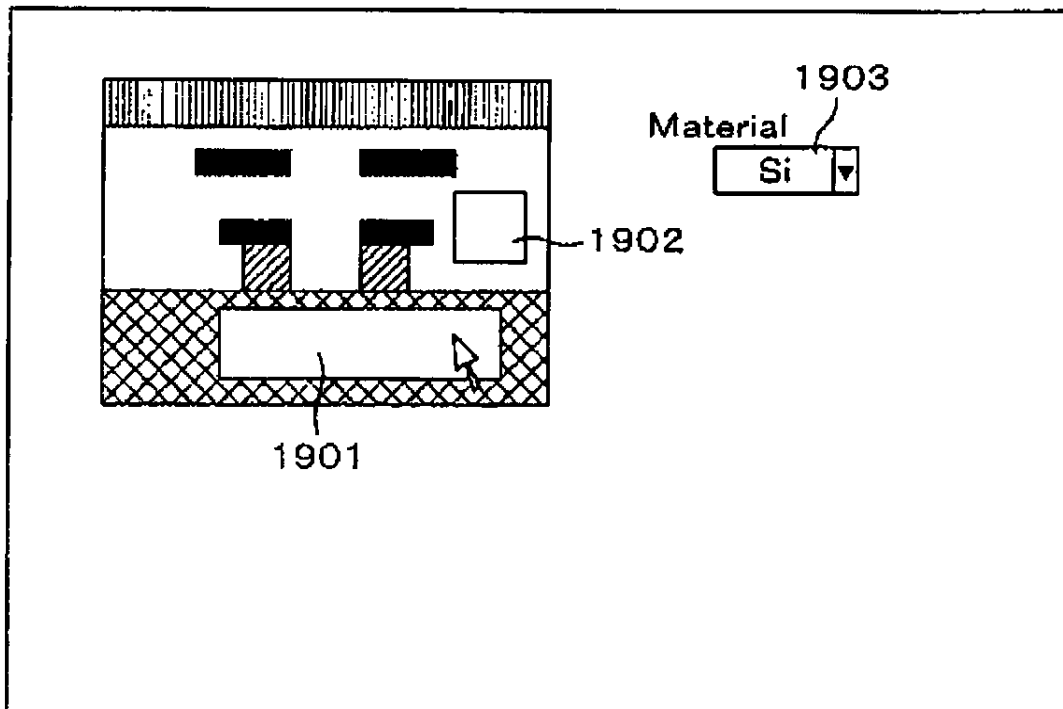




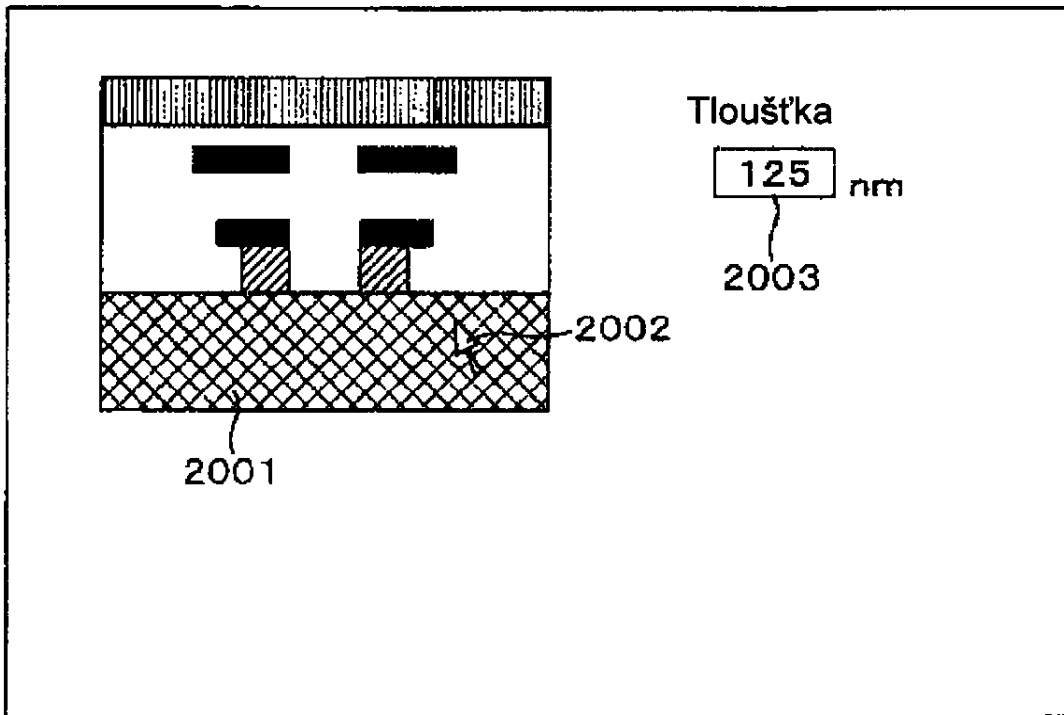
**Obr. 18**



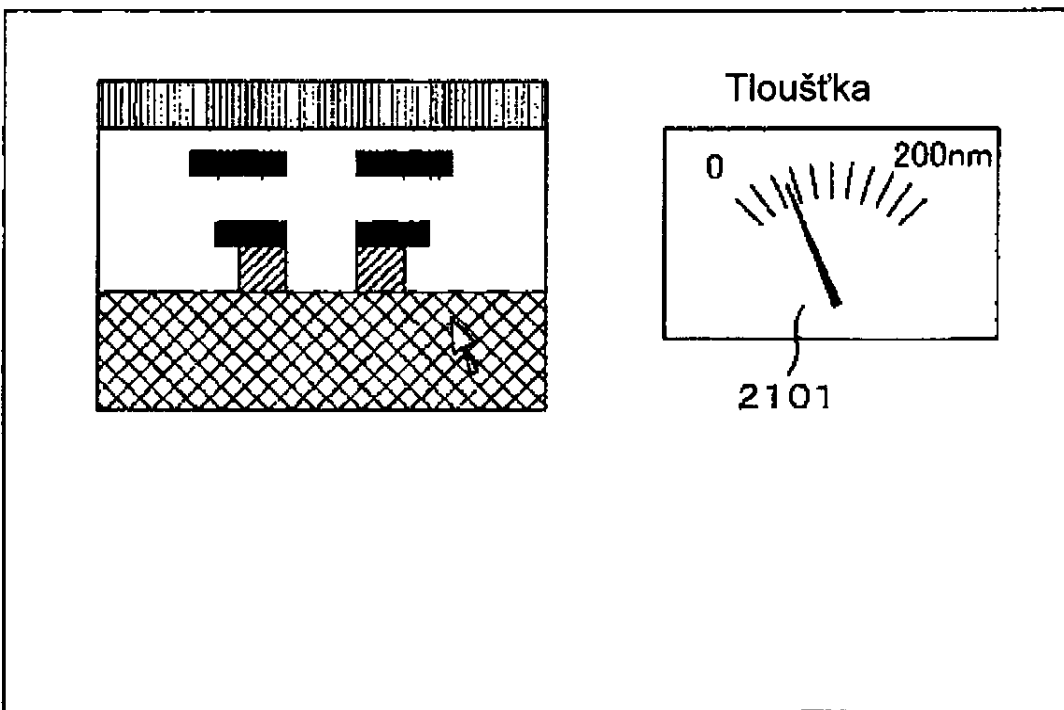
**Obr. 19**



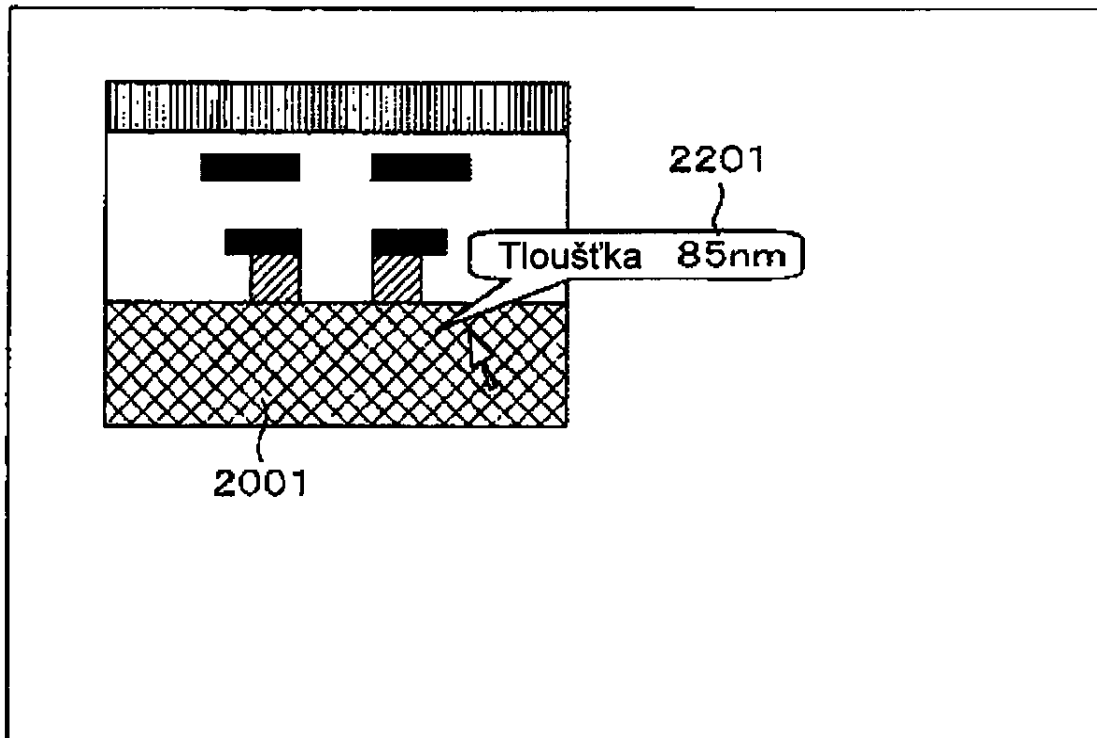
**Obr. 20**



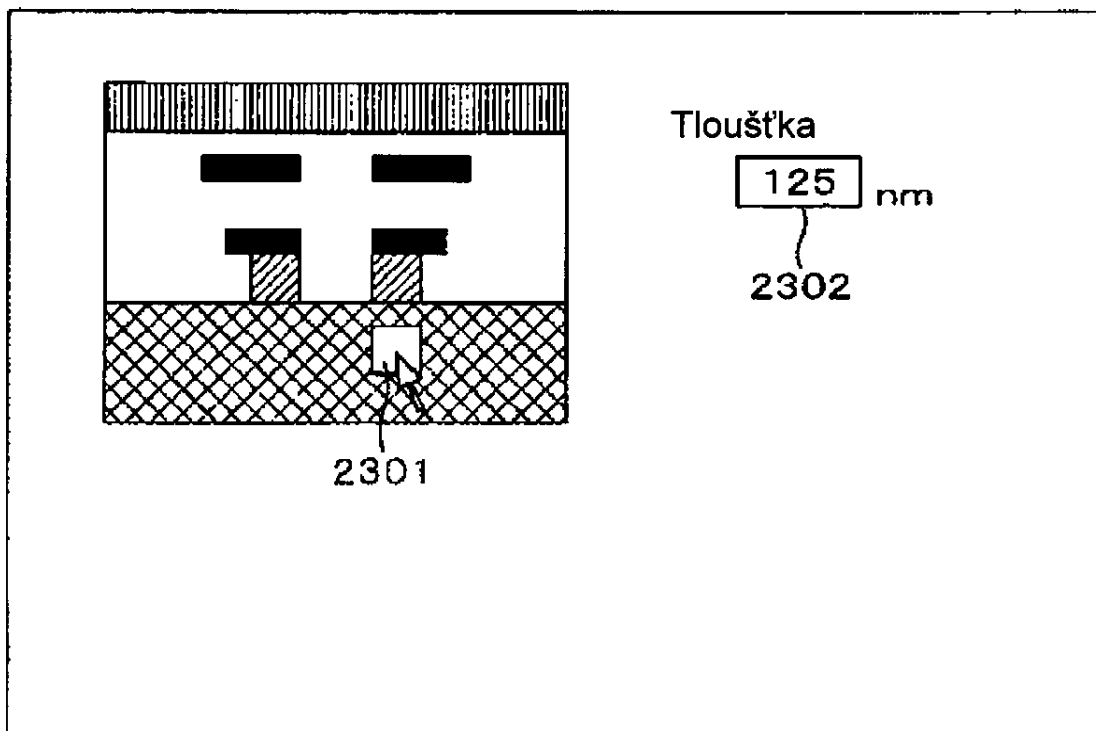
**Obr. 21**



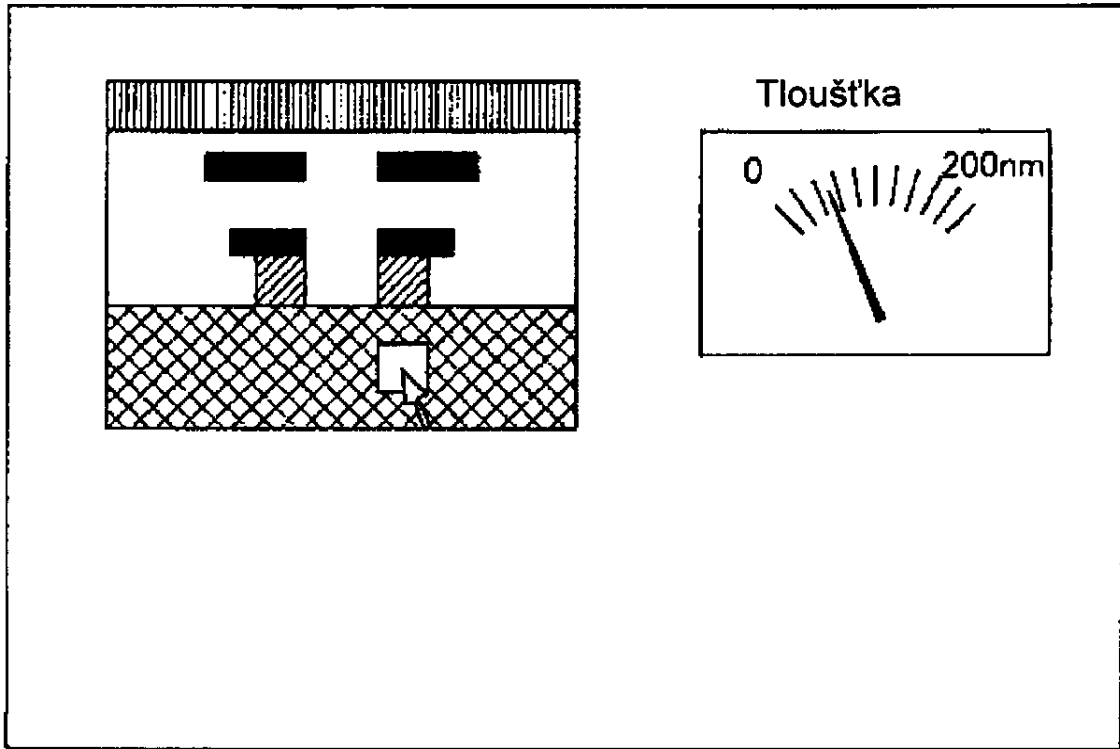
Obr. 22



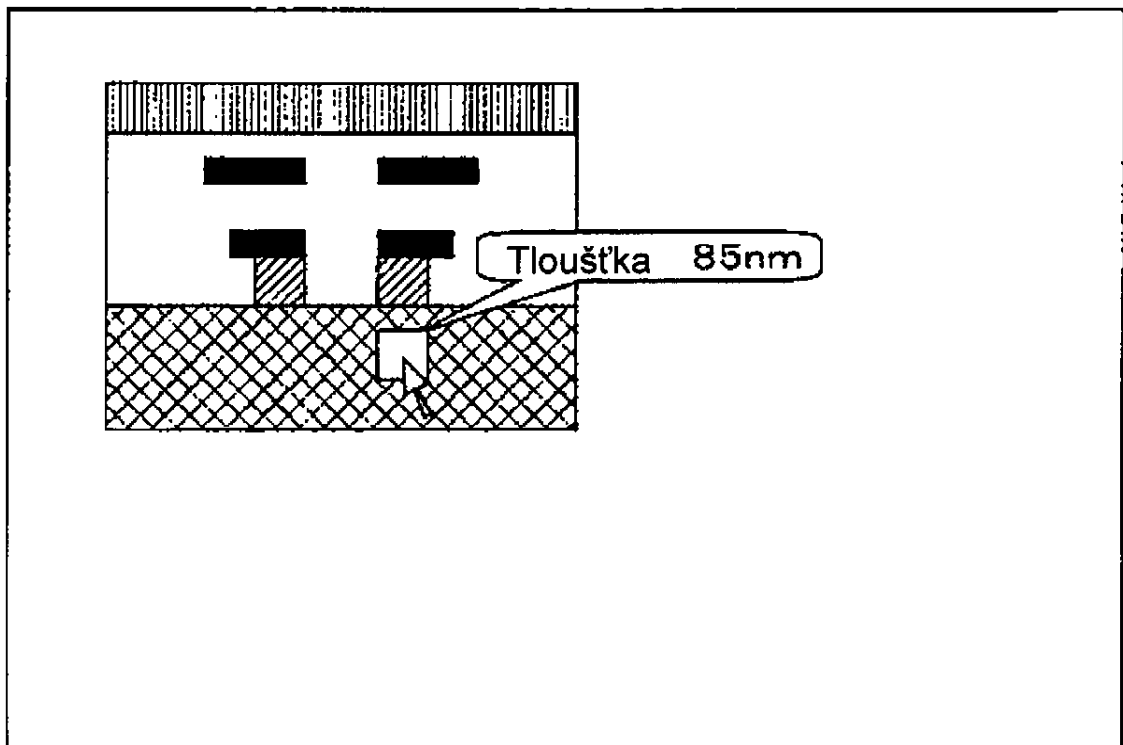
Obr. 23



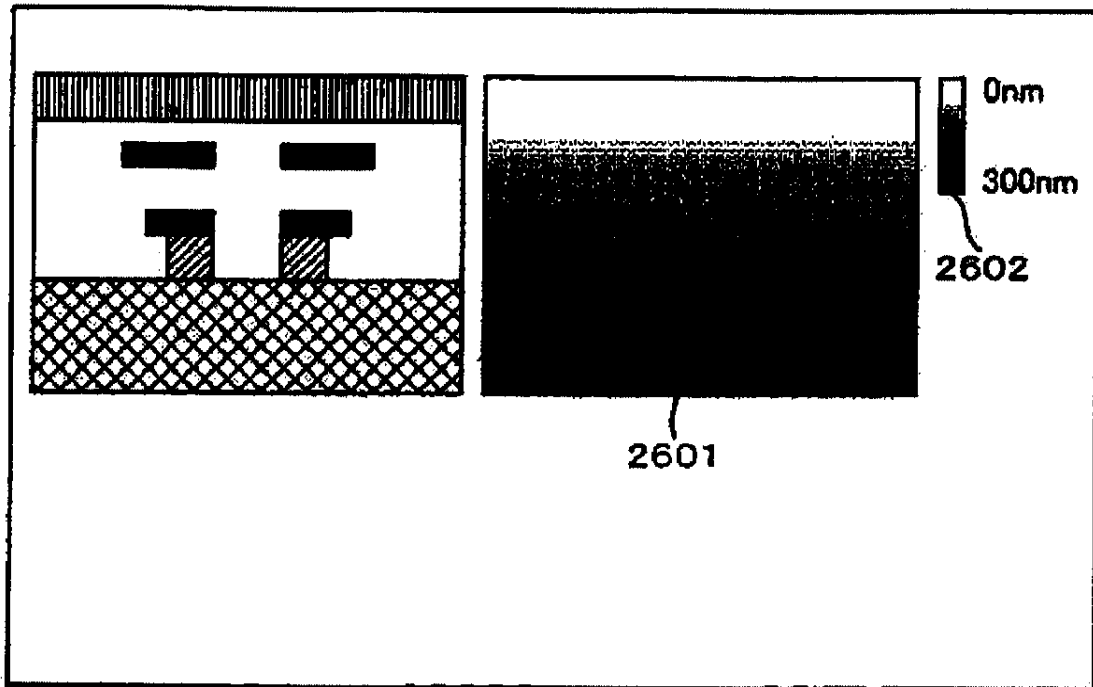
**Obr. 24**



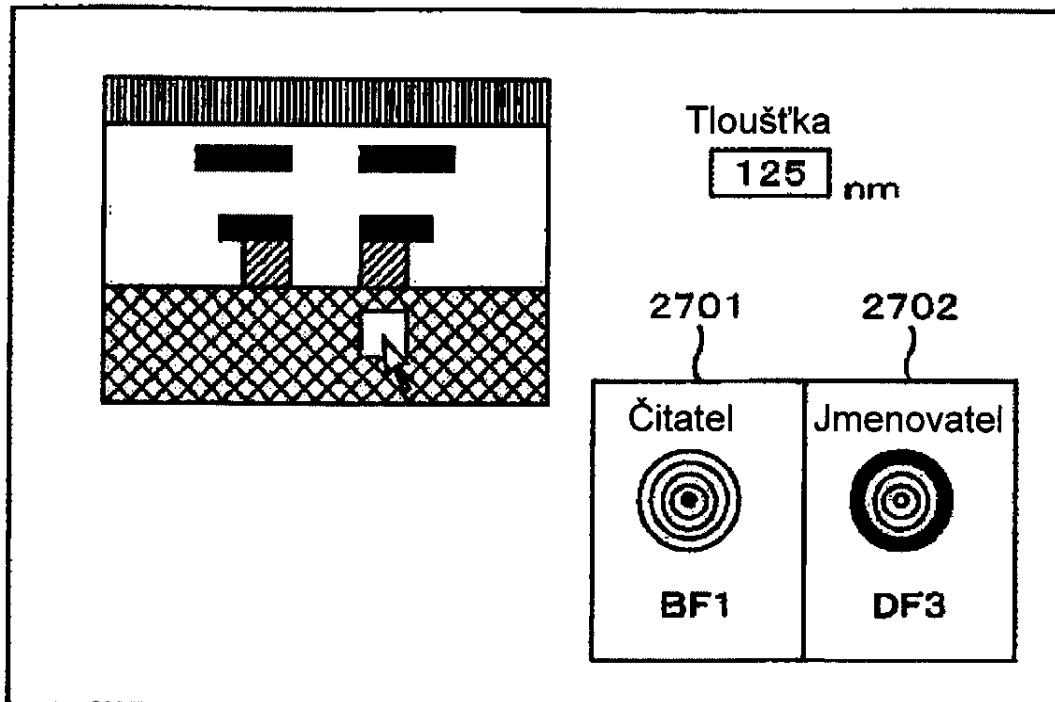
**Obr. 25**



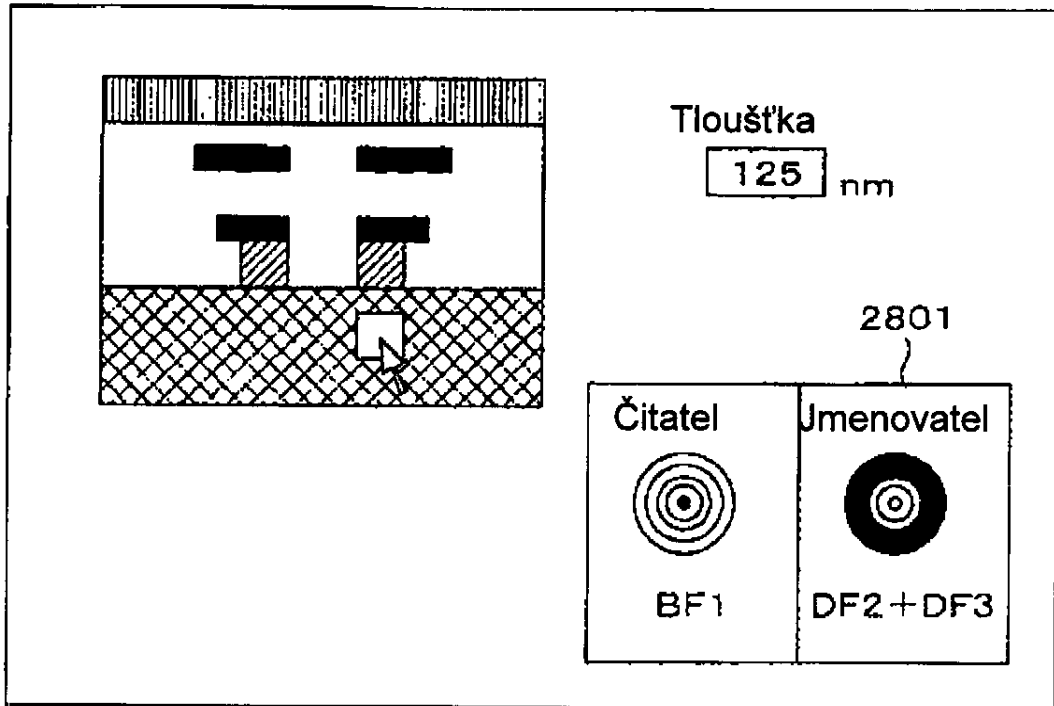
Obr. 26



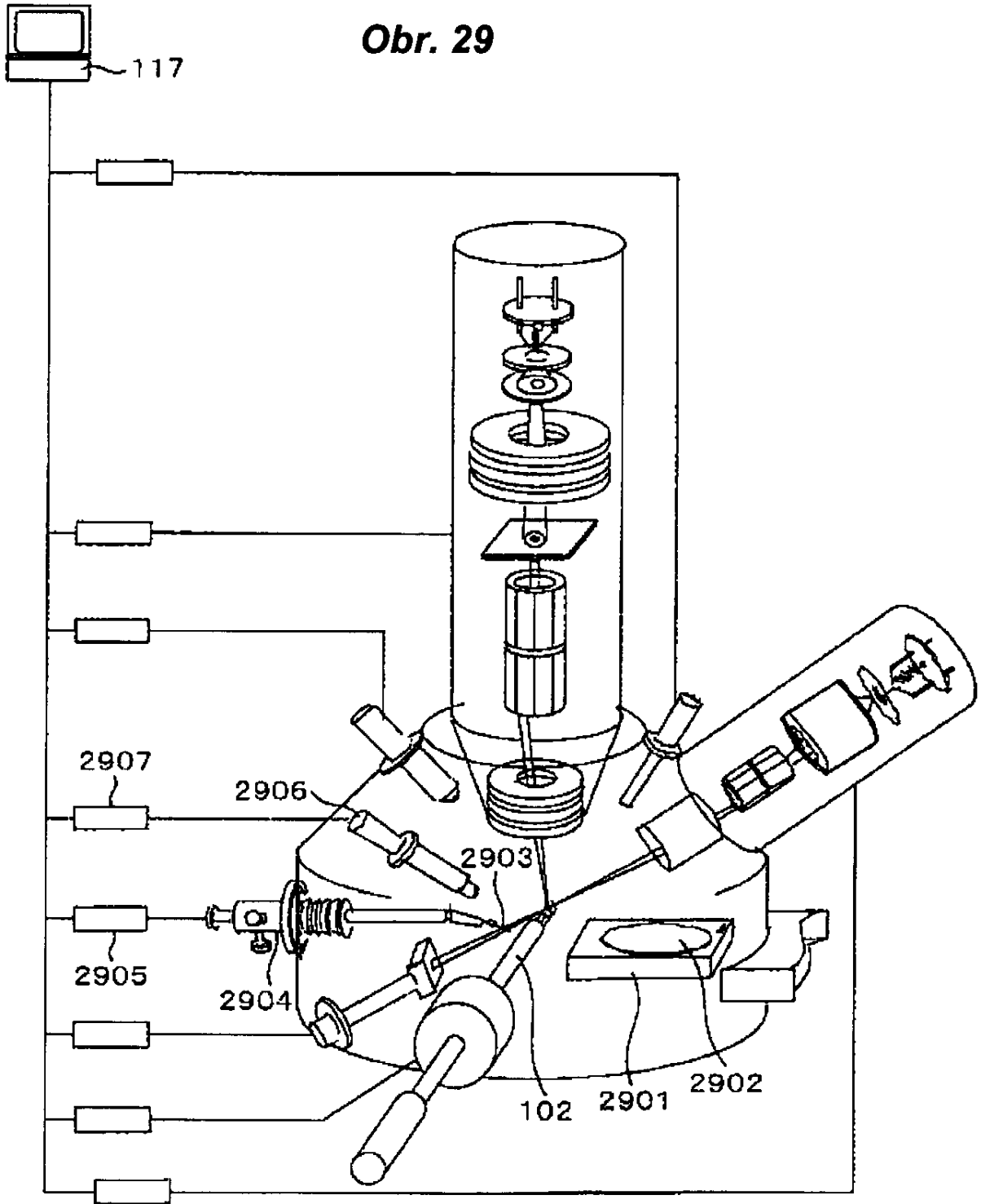
Obr. 27



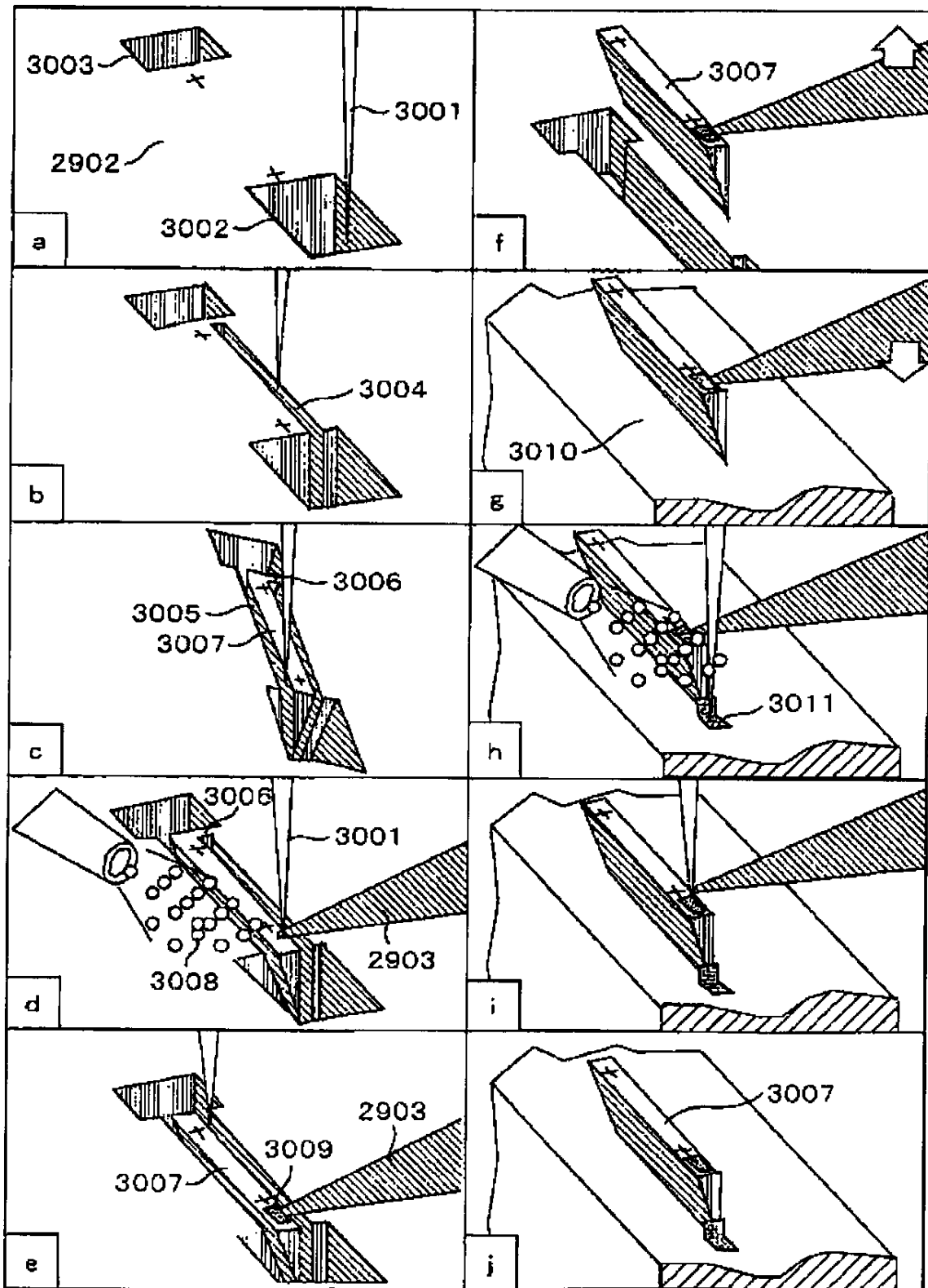
Obr. 28



Obr. 29

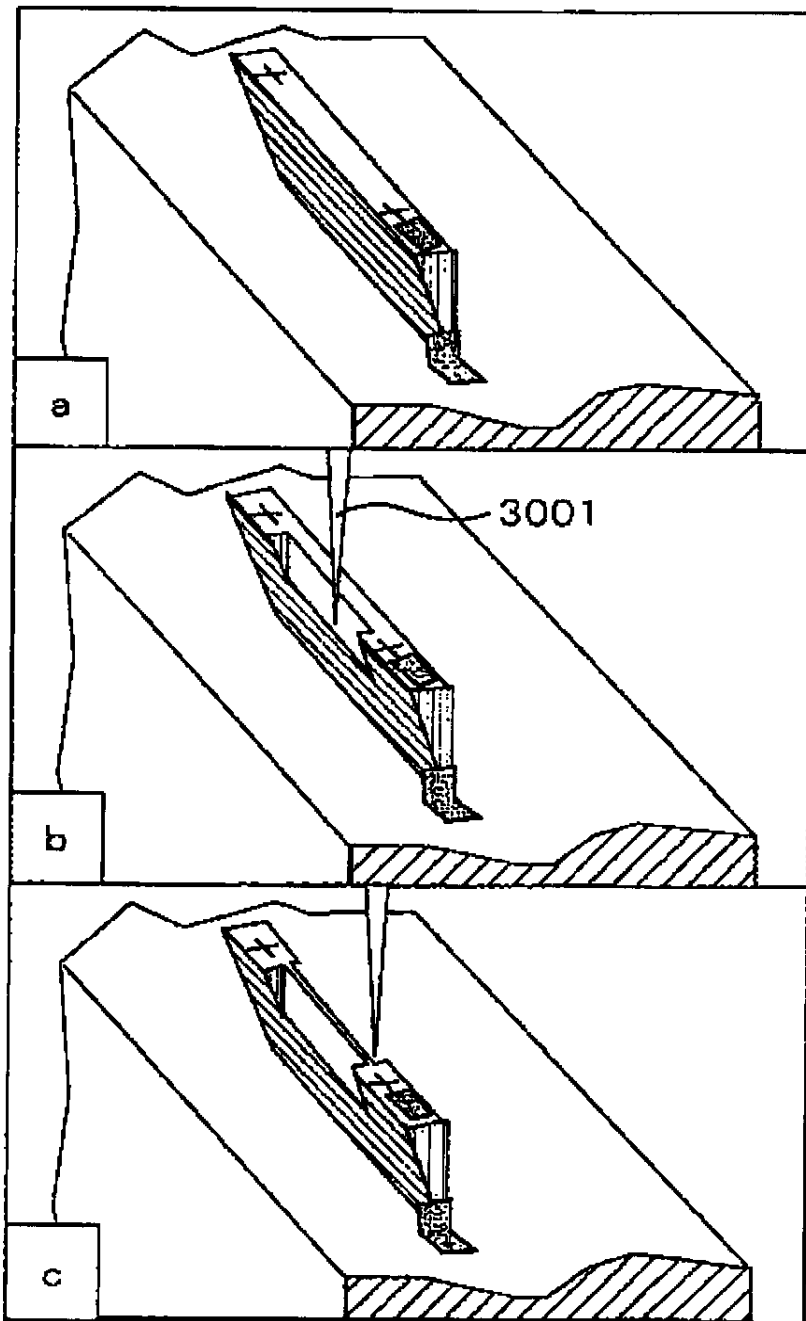


Obr. 30

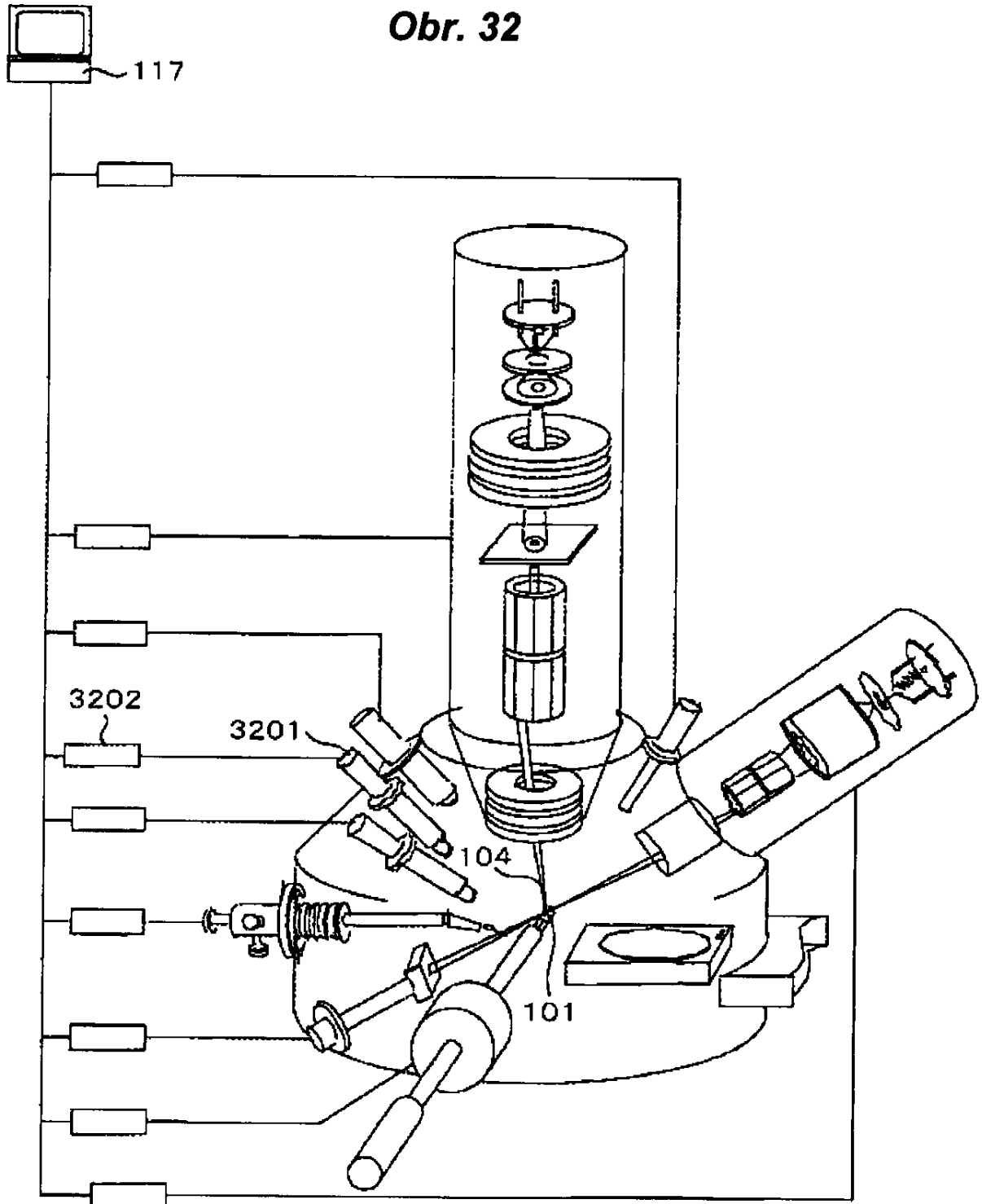




**Obr. 31**



Obr. 32



**Obr. 33**

