

# PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

## 2020-320

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

*G01Q 90/00* (2010.01)

*H01J 37/30* (2006.01)

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **05.06.2020**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **08.12.2021**  
(Věstník č. 49/2021)

(71) Přihlašovatel:  
Tescan Brno, s.r.o., Brno, Kohoutovice, CZ

(72) Původce:  
Sharang, Delhi-110085, IN  
Hedvika Urbanová, Kostelní Radouň, CZ

(74) Zástupce:  
PatentEnter s.r.o., Koliště 1965/13a, 602 00 Brno,  
Černá Pole

(54) Název přihlášky vynálezu:  
**Způsob automatické detekce požadovaného  
píku při opracování vzorku fokusovaným  
iontovým svazkem**

(57) Anotace:  
Předmětem technického řešení je způsob  
automatické detekce požadovaného píku při  
opracování vzorku fokusovaným iontovým  
svazkem, který pro filtraci naměřeného signálu  
sekundárních částic využívá diskrétní vlnkovou  
transformaci následovanou detekcí píků a zastavení  
opracování vzorku po dosažení požadovaného  
počtu píků.

## Způsob automatické detekce požadovaného píku při zpracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem

### 5 Oblast techniky

Vynález se týká způsobu automatické detekce požadovaného píku při zpracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem. Zejména se jedná o automatickou detekci požadované odprašované vrstvy vzorku u vícevrstevných materiálů především u vícevrstevných polovodičových čipů nebo desek plošných spojů.

### Dosavadní stav techniky

15 V současnosti dochází ke stále častějšímu využívání fokusovaného iontového svazku (FIB) pro zpracování různých vícevrstevných materiálů, a to zejména v polovodičovém průmyslu. Cílem takového zpracování může být například analýza defektů na desce plošných spojů (DPS), výroba prototypů DPS, oprava DPS, analýza defektů vícevrstevných polovodičových čipů, výroba prototypů vícevrstevných polovodičových čipů nebo oprava vícevrstevných polovodičových čipů. Aby takovéto  
20 zpracování bylo možné, je pro většinu aplikací nutné znát hloubku zpracování, a zejména je nutné detekovat koncový bod při přechodu mezi jednotlivými vrstvami během zpracování komplexních struktur. Vzhledem k této potřebě byly již představeny různé způsoby takového detekce, jako například detekce vzorkem přijatého proudu nebo detekce různých signálních částic, jako jsou sekundární částice například sekundární ionty nebo sekundární elektrony. Nevýhodou detekce sekundárních částic je jejich velký rozsah hodnot energie, který je závislý především na materiálu, z něhož jsou emitovány.

Jedním z patentů popisujících využití sekundárních částic je US 5952658. Tento patent popisuje detekování sekundárních částic generovaných dopadem svazku nabitých částic, přičemž se využívá  
30 efektu rozdílné produkce těchto částic v závislosti na materiálu vrstvy. Z detekovaného signálu se následně určí píky, jež odpovídají daným materiálům, na něž v danou chvíli dopadá svazek nabitých částic. Následně se na základě těchto piků určí požadovaný koncový bod. Při detekování signálu je také velmi často detekován i šum, který ztěžuje správnou identifikaci piků v signálu, a proto je klíčové tento šum vhodným způsobem co nejvíce potlačit. Patent z tohoto důvodu tedy  
35 popisuje dále způsob, jakým je detekovaný signál filtrován. Pro potlačení šumu je detekovaný signál nejprve kumulován a následně průměrován pomocí průměrovacího filtru s plovoucím oknem a poté je aproximován polynomem. Nevýhodou patentem popisovaného způsobu filtrace signálu je nutnost úprav zmíněného polynomu v závislosti na množství signálu, což snižuje robustnost celého procesu. Další nevýhodou je použití průměrovacího filtru s plovoucím oknem jakožto  
40 prvního kroku zpracování signálu, jelikož využití tohoto typu filtru v tomto bodě zpracování signálu je nedostatečně efektivní a nedochází tak k efektivnímu potlačení šumu.

Dalším dokumentem, který popisuje využití sekundárních elektronů je patentová přihláška JP 2000036278. Tato patentová přihláška popisuje detekování sekundárních elektronů generovaných dopadem fokusovaného iontového svazku na vzorek. Na rozdíl od výše zmíněného  
45 amerického patentu však tato přihláška popisuje porovnání detekovaného signálu bez jeho dalších úprav s referenčním signálem. Na základě výsledku tohoto srovnání je poté vydán příkaz k zastavení zpracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem. Tento způsob zpracování je však nevhodný, jelikož je nutné předem znát referenční signál, což je vzhledem k možným rozsahům energií sekundárních elektronů velmi komplikované.

Všechny výše uvedené dokumenty tedy představují řešení, která nejsou robustní a jejich použití v libovolném případě je tedy velmi komplikované až nemožné.

55 Bylo by tedy vhodné přijít s robustním řešením, které by umožňovalo takové zpracování

sekundárních částic, které by nebylo závislé na předchozích znalostech referenčního signálu nebo by nevyžadovalo úpravy filtrů, a umožňovalo by tak detekci koncového bodu opracování a výrazné potlačení šumu za jakýchkoliv podmínek.

5

### Podstata vynálezu

Výše uvedeného cíle je dosaženo prostřednictvím způsobu automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem pomocí systému zahrnujícího iontový tubus se zdrojem iontů uzpůsobený pro ozařování vzorku fokusovaným iontovým svazkem, pracovní komoru, k níž je připojen iontový tubus, detektor sekundárních částic, jež je umístěn v pracovní komoře nebo v iontovém tubusu, držák vzorku umístěný v pracovní komoře a uzpůsobený pro umístění vzorku, vzorek umístěný v držáku vzorku a vyhodnocovací jednotku obsahující paměť, v níž je uložena alespoň informace o požadovaném počtu píků, zahrnující první skupinu kroků obsahující krok:

15

- ozařování jednotlivých opracovávaných bodů v opracovávané oblasti vzorku fokusovaným iontovým svazkem a detekování množství sekundárních částic emitovaných z opracovávané oblasti vzorku a ukládání diskretních hodnot získaných zprůměrováním detekovaného množství sekundárních částic z celé opracovávané oblasti vzorku s vzorkovací frekvencí v rozsahu 1 až 3 Hz do paměti,

20

a jehož podstata spočívá v tom, že dále zahrnuje druhou skupinu kroků prováděných simultánně s první skupinou kroků, přičemž druhá skupina kroků je prováděna vyhodnocovací jednotkou a přičemž druhá skupina kroků zahrnuje sekvenci kroků:

25

- transformování uložených diskretních hodnot podle frekvencí alespoň do části detail 1 a do části aproximace 1 provedením alespoň jednostupňové diskretní vlnkové transformace uložených diskretních hodnot podle dekompozičních filtrů mateřské vlnky,
- vynulování části detail 1,
- vytvoření filtrovaného signálu provedením zpětné diskretní vlnkové transformace transformovaných diskretních hodnot podle rekonstrukčních filtrů mateřské vlnky,
- detekování počtu píků filtrovaného signálu, a
- vydání příkazu k zastavení opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem po dosažení daného počtu píků dle informace o požadovaném počtu píků,

30

35

40

přičemž první skupina kroků dále obsahuje krok ukončení ozařování jednotlivých opracovávaných bodů vzorku fokusovaným iontovým svazkem poté, co je vydán příkaz k zastavení opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem.

45

Způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem naplňuje výše uvedený cíl tak, že využívá pro filtraci signálu diskretní vlnkovou transformaci, která umožňuje odfiltrování šumu z naměřených hodnot bez nutnosti nastavování a znalosti prahových hodnot. Vzhledem k tomu, že není nutná znalost prahových hodnot pro provádění filtrace, je tak možné efektivně filtrovat jakýkoliv signál.

50

V další variantě kroku transformování uložených diskretních hodnot jsou uloženy diskretní hodnoty transformovány alespoň do části detail 1, do části detail 2, do části detail 3 a do části aproximace 3 provedením čtyřstupňové diskretní vlnkové transformace uložených diskretních hodnot podle dekompozičních filtrů mateřské vlnky. Tato varianta kroku transformování uložených diskretních hodnot pomáhá naplňovat výše uvedené cíle tím, že v případě zašuměného

55

signálu umožňuje odfiltrovat větší množství zašuměného signálu oproti pouze jednostupňové diskretní vlnkové transformaci. Za zašuměný signál je možné považovat takový signál, který obsahuje větší počet piků, než je požadovaný počet piků nebo takový signál, jehož poměr šumu k signálu je větší než 15 %.

5

V další variantě kroku vynulování části transformovaných diskretních hodnot jsou vynulovány části detail 1, detail 2 a detail 3. Tato varianta kroku vynulování části transformovaných diskretních hodnot ve spojení s variantou kroku transformování uložených diskretních hodnot popsanou v předcházejícím odstavci pomáhá naplňovat výše uvedené cíle, jelikož v případě zašuměného signálu odfiltrává ze signálu větší množství zašuměného signálu oproti stavu, kdy je ze signálu odfiltrována pouze část detail 1.

10

V další variantě druhé skupiny kroků je po kroku vytvoření filtrovaného signálu a před krokem detekování počtu piků dále vyhodnocovací jednotkou proveden krok průměrování filtrovaného signálu s použitím plovoucího okna a zprůměrováním velikosti hodnot filtrovaného signálu nacházejících v tomto plovoucím okně. Použití kroku průměrování filtrovaného signálu po zmíněných předchozích krocích umožňuje ještě více vyhladit již filtrovaný signál, a tedy i následně usnadnit detekci piků a naplnit tak výše uvedené cíle. Délka plovoucího okna odpovídá 3 až 15 % z aktuálního počtu detekovaných diskretních hodnot. Avšak zároveň maximální délka plovoucího okna odpovídá nejvýše počtu 100 diskretních hodnot, resp. ekvivalentní délce časového úseku dle vzorkovací frekvence.

15

20

V další variantě druhé skupiny kroků je po kroku detekování počtu piků a před krokem vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku dále vyhodnocovací jednotkou proveden krok vynechání blízkých piků, přičemž blízké píky jsou takové píky, jejichž vzdálenost od nejbližšího piku je menší než 50 % průměrné hodnoty vzdálenosti mezi jednotlivými, po sobě jdoucími píky. Použití kroku vynechání blízkých piků pomáhá dosažení výše uvedených cílů tak, že odstraňuje ty píky, které jsou blízko předchozím nebo následujícím pikům a je tedy pravděpodobné, že se jedná o falešných piků neznačící odlišnou vrstvu, ale pouze chybu měření. Takovýto falešný pik je například malé převýšení následující hodnoty filtrovaného signálu při jinak klesajícím trendu.

25

30

V další variantě druhé skupiny kroků je po kroku detekování počtu piků filtrovaného signálu a před krokem vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku fokusovaným iontovým svazkem dále vyhodnocovací jednotkou proveden krok vynechání posledního piků. Použití kroku vynechání posledního piků pomáhá dosažení výše uvedených cílů tak, že odstraňuje poslední falešný pik vzniklý v důsledku hraničního jevu u zašuměného signálu. Hraniční jev vzniká při průměrování filtrovaného signálu s pomocí plovoucího okna.

35

40

Píky jsou lokální maxima filtrovaného signálu nebo lokální minima filtrovaného signálu.

Dle jedné z variant je mateřskou vlnkou Daubechies-4. Využití této mateřské vlnky umožňuje spolehlivou detekci změn gradientu uložených diskretních hodnot v porovnání s jinými druhy mateřských vlnek, např. Haarovou vlnkou.

45

### Objasnění výkresů

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

50

obr. 1 je viditelný graf znázorňující velikost uložených diskretních hodnot prvního konkrétního příkladného provedení v závislosti na čase,

55

obr. 2 je viditelný graf znázorňující velikosti diskretních hodnot filtrovaného signálu prvního konkrétního příkladného provedení v závislosti na čase,

- obr. 3 je viditelný graf znázorňující velikosti diskretních hodnot zprůměrovaného filtrovaného signálu prvního konkrétního příkladného provedení v závislosti na čase,
- 5 obr. 4 je viditelný graf znázorňující velikost uložených diskretních hodnot druhého konkrétního příkladného provedení v závislosti na čase,
- obr. 5 je viditelný graf znázorňující velikosti diskretních hodnot filtrovaného signálu druhého konkrétního příkladného provedení v závislosti na čase,
- 10 obr. 6 je viditelný graf znázorňující velikosti diskretních hodnot zprůměrovaného filtrovaného signálu druhého konkrétního příkladného provedení v závislosti na čase.

#### Příklady uskutečnění vynálezu

15

Uvedená uskutečnění znázorňují příkladné varianty provedení vynálezu, která však nemají z hlediska rozsahu ochrany žádný omezující vliv.

20 Příkladem provedení vynálezu je způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem pomocí systému. Systém zahrnuje iontový tubus se zdrojem iontů. Iontový tubus se zdrojem iontů je uzpůsobený pro ozařování vzorku fokusovaným iontovým svazkem. Iontový tubus je pro ozařování vzorku fokusovaným iontovým svazkem uzpůsoben tak, že obsahuje iontový zdroj, extraktor, kondenzorovou čočku a deflektor. V iontovém tubusu je zmíněné umístěno tak, že za zdrojem iontů je podél optické osy iontového tubusu ve směru šíření svazku iontů umístěn extraktor. Za extraktorem je podél optické osy iontového tubusu ve směru šíření svazku iontů umístěna kondenzorová čočka. Za kondenzorovou čočkou je podél optické osy iontového tubusu ve směru šíření svazku iontů umístěn deflektor. Za deflektorem se podél optické osy iontového tubusu ve směru šíření svazku iontů nachází ústí iontového tubusu, kterým fokusovaný iontový svazek vychází z iontového tubusu. Iontový svazek je fokusován při průchodu přes kondenzorovou čočku. Deflektorem je iontový svazek vychylován ve dvou navzájem kolmých směrech kolmých na směr šíření svazku iontů. Deflektor může být v jednom z příkladných provedení tvořen dvěma patry rastrovacích prvků, přičemž tyto jsou uzpůsobeny pro působení silovým polem na iontový svazek, který je v závislosti na tomto působení vychylován vůči optické ose iontového tubusu. Deflektor může být tvořen elektromagnetickými cívkami nebo elektrostatickými elektrodami.

35

40 Systém dále zahrnuje pracovní komoru, k níž je připojen iontový tubus. Iontový tubus je k pracovní komoře připojen tak, že fokusovaný svazek iontů vycházející z ústí iontového tubusu vchází do pracovní komory. Systém dále zahrnuje držák vzorku a vzorek. Držák vzorku je uzpůsoben pro umístění vzorku. V držáku vzorku je umístěn vzorek. Držák vzorku je umístěn v pracovní komoře. Držák vzorku je v prvním příkladném provedení držáku vzorku uzpůsobený pro náklon kolem tří navzájem kolmých os a zároveň uzpůsobený pro posun ve třech navzájem kolmých osách. Ve druhém příkladném provedení držáku vzorku je držák vzorku uzpůsobený pro náklon alespoň kolem jedné osy.

45

50 Systém dále v jednom z příkladných provedení zahrnuje zásobník plynu a soustavu pro přivádění plynu do pracovní komory, připojenou na jednom konci k pracovní komoře a na druhém konci k zásobníku plynu. Přiváděným plynem je kterýkoliv plyn ze skupiny Nanoflat od společnosti TESCAN ORSAY HOLDING a.s., A-Maze od společnosti TESCAN ORSAY HOLDING a.s., XeF<sub>2</sub> nebo jakýkoliv jiný vhodný plyn podporující zrychlení odleptávání fokusovaným iontovým svazkem, snížení nechtěného dopingu z fokusovaného iontového svazku do vzorku, snížení redepozice odleptaného materiálu nebo zvýšení selektivity u vícevrstvých vzorků.

50

55 Systém dále zahrnuje detektor sekundárních částic. Sekundárními částicemi jsou myšleny sekundární elektrony nebo sekundární ionty emitované vzorkem po dopadu fokusovaného

55

iontového svazku na vzorek. Detektor sekundárních částí je v prvním příkladném provedení umístění detektoru sekundárních částí umístěn v pracovní komoře. Ve druhém příkladném provedení umístění detektoru sekundárních částí je detektor sekundárních částí umístěn v iontovém tubusu. Detektor sekundárních částí detekuje množství sekundárních částí emitovaných z opracovávané oblasti vzorku. Detekované hodnoty množství sekundárních částí z detektoru sekundárních částí z celé opracovávané oblasti vzorku jsou pomocí například vestavěného systému (též nazývaný embedded systém) nebo jiného výpočetního systému, s vzorkovací frekvencí v rozsahu 1 až 3 Hz průměrovány tak, že z celé opracovávané oblasti vzniká v pravidelných intervalech, daných zmiňovanou vzorkovací frekvencí, jedna diskrétní hodnota. Tyto diskrétní hodnoty jsou následně ukládány do paměti ve formě závislosti velikosti diskrétních hodnot na čase dle vzorkovací frekvence nebo na počtu diskrétních hodnot.

Systém dále zahrnuje vyhodnocovací jednotku a řídicí jednotku. Vyhodnocovací jednotka obsahuje paměť a procesor. Vyhodnocovací jednotkou a řídicí jednotkou jsou jakákoliv zařízení ze skupiny zahrnující alespoň osobní počítač, mikropočítač nebo vestavěný systém. Vyhodnocovací jednotka je datově spojena s detektorem sekundárních částí a s řídicí jednotkou. Řídicí jednotka je uzpůsobena pro řízení ozařování vzorku fokusovaným iontovým svazkem. Řídicí jednotka je datově spojena s řídicími prvky zdroje iontů, extraktoru, deflektoru a kondenzorové čočky. Datovým spojením se rozumí analogové nebo digitální datové spojení. Vyhodnocovací jednotka je uzpůsobena pro vydání příkazu k zastavení opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem. Příkaz k zastavení opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem je předán do řídicí jednotky, která na základě tohoto zastaví ozařování vzorku iontovým svazkem. V paměti je uložena informace o požadovaném počtu piků a povaha těchto piků, tedy zda těmito píky mají být lokální maxima, lokální minima nebo kombinace obojího. Lokálními maximy, respektive lokálními minimy, jsou myšleny takové hodnoty signálu, při nichž dochází ke změně z rostoucího trendu signálu na klesající trend signálu, respektive naopak.

Způsob automatické detekce požadovaného piků při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem zahrnuje první skupinu kroků a druhou skupinu kroků, jež jsou prováděny simultánně.

První skupina kroků obsahuje krok ozařování jednotlivých opracovávaných bodů vzorku fokusovaným iontovým svazkem a detekování množství sekundárních částí emitovaných z opracovávané oblasti vzorku, na kterou dopadá fokusovaný iontový svazek a ukládání diskrétních hodnot do paměti. První skupina kroků dále obsahuje krok ukončení ozařování jednotlivých opracovávaných bodů vzorku fokusovaným iontovým svazkem poté, co řídicí jednotka obdrží příkaz k zastavení opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem od vyhodnocovací jednotky.

V prvním příkladném provedení druhé skupiny kroků zahrnuje druhá skupina kroků sekvenci kroků prováděných vyhodnocovací jednotkou obsahující kroky: transformování uložených diskrétních hodnot, vynulování části transformovaných diskrétních hodnot, vytvoření filtrovaného signálu, detekování počtu piků, vydání příkazu k zastavení opracování vzorku.

Ve druhém příkladném provedení druhé skupiny kroků zahrnuje druhá skupina kroků sekvenci kroků prováděných vyhodnocovací jednotkou obsahující kroky: transformování uložených diskrétních hodnot, vynulování části transformovaných diskrétních hodnot, vytvoření filtrovaného signálu, průměrování filtrovaného signálu, detekování počtu piků, vydání příkazu k zastavení opracování vzorku.

Ve třetím příkladném provedení druhé skupiny kroků zahrnuje druhá skupina kroků sekvenci kroků prováděných vyhodnocovací jednotkou obsahující kroky: transformování uložených diskrétních hodnot, vynulování části transformovaných diskrétních hodnot, vytvoření filtrovaného signálu, detekování počtu piků, vynechání blízkých piků, vydání příkazu k zastavení opracování vzorku.

Ve čtvrtém příkladném provedení druhé skupiny kroků zahrnuje druhá skupina kroků sekvenci

kroků prováděných vyhodnocovací jednotkou obsahující kroky: transformování uložených diskretních hodnot, vynulování části transformovaných diskretních hodnot, vytvoření filtrovaného signálu, průměrování filtrovaného signálu, detekování počtu píků, vynechání blízkých píků, vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku.

5

V pátém příkladném provedení druhé skupiny kroků zahrnuje druhá skupina kroků sekvenci kroků prováděných vyhodnocovací jednotkou obsahující kroky: transformování uložených diskretních hodnot, vynulování části transformovaných diskretních hodnot, vytvoření filtrovaného signálu, průměrování filtrovaného signálu, detekování počtu píků, vynechání posledního píku, vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku.

10

V šestém příkladném provedení druhé skupiny kroků zahrnuje druhá skupina kroků sekvenci kroků prováděných vyhodnocovací jednotkou obsahující kroky: transformování uložených diskretních hodnot, vynulování části transformovaných diskretních hodnot, vytvoření filtrovaného signálu, průměrování filtrovaného signálu, detekování počtu píků, vynechání blízkých píků, vynechání posledního píku, vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku.

15

V prvním příkladném provedení kroku transformování uložených diskretních hodnot jsou uloženy detekované hodnoty transformovány provedením jednostupňové diskretní vlnkové transformace. Tato transformace umožňuje rozdělení vstupního diskretního signálu podle frekvencí do dvou částí, a to části s vysokými frekvencemi obsahující detaily signálu a části s nízkými frekvencemi obsahující aproximace signálu. V případě vícestupňové vlnkové transformace je takto dále zpracována vysokofrekvenční část signálu. Příslušné stupně transformace jsou dále indexovány číslem uvedeným za zmíněnou částí detail nebo aproximace. V prvním příkladném provedení kroku transformování uložených diskretních hodnot jsou uloženy detekované hodnoty transformovány podle frekvencí do části detail 1 a do části aproximace 1 provedením jednostupňové diskretní vlnkové transformace uložených diskretních hodnot podle dekompozičních filtrů mateřské vlnky Daubechies-4. Ve druhém příkladném provedení kroku transformování uložených diskretních hodnot jsou uloženy detekované hodnoty transformovány podle frekvencí do části s detail 1, do části se detail 2, do části detail 3 a do části aproximace 3 provedením čtyřstupňové diskretní vlnkové transformace uložených diskretních hodnot podle dekompozičních filtrů mateřské vlnky Daubechies-4.

20

25

30

V prvním příkladném provedení kroku vynulování části transformovaných diskretních hodnot je vynulována část detail 1. Ve druhém příkladném provedení kroku vynulování části transformovaných diskretních hodnot jsou vynulovány části detail 1, detail 2 a detail 3. Vynulováním části transformovaných hodnot je vždy myšleno pouhé vynulování těchto hodnot, tyto hodnoty tedy nejsou odstraněny, ale nedochází již k ovlivňování výsledného signálu, v tomto případě v následujícím kroku vytvořeného filtrovaného signálu.

35

40

Jednotlivá příkladná provedení kroku transformování uložených diskretních hodnot a kroku vynulování části transformovaných diskretních hodnot mohou být vzájemně kombinována. Zejména je možné vzájemně kombinovat první příkladné provedení kroku transformování diskretních hodnot s prvním příkladným provedením kroku vynulování části transformovaných diskretních hodnot. Dále je také možné kombinovat druhé příkladné provedení kroku transformování diskretních hodnot s druhým příkladným provedením kroku vynulování části transformovaných diskretních hodnot. Dále je také možné kombinovat druhé příkladné provedení kroku transformování diskretních hodnot s prvním příkladným provedením kroku vynulování části transformovaných diskretních hodnot.

45

50

V kroku vytvoření filtrovaného signálu je filtrovaný signál vytvořen provedením zpětné diskretní vlnkové transformace transformovaných diskretních hodnot podle rekonstrukčních filtrů mateřské vlnky Daubechies-4. Vstupy pro jednotlivé úrovně zpětné diskretní vlnkové transformace jsou odpovídající výstupy jednotlivých úrovní diskretní vlnkové transformace.

55

V kroku detekování počtu piků je detekován počet piků filtrovaného signálu dle v paměti definované povahy piků. Piky jsou detekovány pomocí aproximace první derivace. Jinak řečeno piky se počítají jako rozdíl mezi dvěma sousedícími hodnotami filtrovaného signálu, tedy  $d(i) = x(i+1) - x(i)$ , kde  $x(i)$  označuje hodnotu filtrovaného signálu a  $x(i+1)$  označuje následující hodnotu filtrovaného signálu a v případě, že hodnota  $d(i)$  ve dvou po sobě jdoucích hodnotách přejde přes nulu, jinak řečeno, změní se její znaménko oproti předcházející hodnotě, je hodnota v místě  $d(i)$  označena jako pik.

V kroku vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku je vydán příkaz k zastavení opracovávání vzorku fokusovaným iontovým svazkem po dosažení daného počtu piků dle informace o požadovaném počtu piků uložené v paměti.

V kroku průměrování filtrovaného signálu jsou hodnoty filtrovaného signálu zprůměrovány za použití plovoucího okna, přičemž zprůměrovány jsou hodnoty filtrovaného signálu nacházející se v tomto okně. Plovoucím oknem je myšlen postupně se posouvající úsek diskretních hodnot filtrovaného signálu. Plovoucí okno se s přibývajícím počtem diskretních hodnot prodlužuje tak, že maximální délka plovoucího okna je v rozsahu 3 % až 15 % délky filtrovaného signálu, ale ne delší než 50 diskretních hodnot. Průměrování hodnot v tomto plovoucím okně probíhá pomocí vzorce

$$y[i] = \frac{1}{Z} \sum_{j=0}^{Z-1} x[i+j]$$

Kde  $x[i]$  jsou původní hodnoty filtrovaného signálu,  $y[i]$  jsou zprůměrované hodnoty filtrovaného signálu a  $Z$  je počet diskretních hodnot v plovoucím okně.

V kroku vynechání blízkých piků jsou vynechány takové piky, jejichž vzdálenost od nejbližšího piků je menší než 50 % průměrné hodnoty vzdálenosti mezi jednotlivými po sobě jdoucími piky.

V kroku vynechání posledního piků je vynechán poslední pik. Krok vynechání posledního piků se aplikuje v případě, že se jedná o zašuměný signál, na který byl aplikován krok průměrování filtrovaného signálu.

Na obr. 1, 2, 3 je viditelné první konkrétní příkladné provedení překládaného vynálezu, při kterém je opracováváním vzorkem vícevrstvý polovodičový čip, přičemž počáteční vrstvou je vrstva V5 a poslední vrstvou, která má být odprášena při opracovávání vzorku fokusovaným iontovým svazkem, je vrstva M3. Do paměti je tedy uložena informace, že požadovaný počet piků je tři, a že těmito piky jsou v tomto příkladném provedení lokální maxima. Vícevrstvý polovodičový čip je nejprve umístěn do držáku vzorku. Následně je opakovaně prováděn krok první skupiny kroků, ozařování jednotlivých opracovávaných bodů vícevrstvého polovodičového čipu fokusovaným iontovým svazkem a detekování množství sekundárních částic emitovaných z opracovávaného vícevrstvého polovodičového čipu, na který dopadá fokusovaný iontový svazek, a ukládání diskretních hodnot získaných zprůměrováním detekovaného množství sekundárních částic z opracovávaného vícevrstvého polovodičového čipu s vzorkovací frekvencí 2 Hz do paměti. Na grafu na obr. 1 jsou viditelné uložené diskretní hodnoty, přičemž z grafu je patrné, že signál obsahuje větší počet lokálních maxim, než je požadovaný počet lokálních maxim, a proto je tento signál považovaný za zašuměný. Zároveň jsou opakovaně prováděny kroky druhé skupiny kroků, až do zaznamenání požadovaného počtu lokálních maxim, přičemž na obr. 1, 2 a 3 je vidět konečný stav, při kterém dojde k zastavení opracovávání. Druhá skupina kroků zahrnuje v tomto příkladném provedení sekvenci kroků: transformování uložených diskretních hodnot, vynulování části transformovaných diskretních hodnot, vytvoření filtrovaného signálu, průměrování filtrovaného signálu, detekování počtu piků, vynechání blízkých piků, vynechání posledního piků, vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku. V kroku transformování uložených diskretních hodnot je provedeno transformování uložených diskretních hodnot podle frekvencí do části detail 1, do části detail 2, do části detail 3 a do části aproximace 3 provedením čtyřstupňové vlnkové

transformace uložených diskretních hodnot podle dekompozičních filtrů mateřské vlnky Daubechies-4. V kroku vynulování části transformovaných diskretních hodnot jsou vynulovány části detail 1, detail 2 a detail 3. V kroku vytvoření filtrovaného signálu je vytvořen filtrovaný signál provedením čtyřúrovňové zpětné diskretní vlnkové transformace transformovaných diskretních hodnot podle rekonstrukčních filtrů mateřské vlnky Daubechies-4. Takto vytvořený filtrovaný signál je vidět na grafu na obr. 2. V následujícím kroku průměrování filtrovaného signálu jsou hodnoty filtrovaného signálu zprůměrovány za použití plovoucího okna, přičemž zprůměrovány jsou hodnoty filtrovaného signálu nacházející se v tomto okně. Maximální délka plovoucího okna je v tomto příkladném provedení 10 % z aktuální délky filtrovaného signálu a zároveň maximální délka odpovídá nejvýše počtu 50 diskretních hodnot. Takto zprůměrovaný filtrovaný signál je viditelný na grafu na obr. 3. V kroku detekování počtu piků je detekován počet lokálních maxim. V kroku vynechání blízkých piků je vynecháno lokální maximum 1, jelikož jeho vzdálenost od následujícího lokálního maxima je menší než 50 % průměrné hodnoty vzdálenosti mezi jednotlivými po sobě jdoucími lokálními maximy a jedná se tedy o falešné lokální maximum. V kroku vynechání posledního piků je vynecháno poslední lokální maximum 2, jelikož se jedná o falešné lokální maximum vzniklé v důsledku hraničního jevu po provedení kroku průměrování filtrovaného signálu. Následně je proveden krok vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku, jelikož byla zaznamenána požadovaná tři lokální maxima. Tato informace je následně přenesena z vyhodnocovací jednotky do řídicí jednotky a je proveden krok ukončení ozařování jednotlivých opracovávaných bodů vícevrstvého polovodičového čipu fokusovaným iontovým svazkem.

Na obr. 4, 5, 6 je viditelné druhé konkrétní příkladné provedení překládaného vynálezu, při kterém je opracovávaným vzorkem vícevrstvý polovodičový čip, přičemž počáteční vrstvou je vrstva M6 a poslední vrstvou, která má být odprášena při opracovávání vzorku fokusovaným iontovým svazkem je vrstva V4. Do paměti je tedy uložena informace, že požadovaný počet piků jsou dva a že těmito piky jsou v tomto příkladném provedení lokální minima. Vícevrstvý polovodičový čip je nejprve umístěn do držáku vzorku. Následně je opakovaně prováděn krok první skupiny kroků, ozařování jednotlivých opracovávaných bodů vícevrstvého polovodičového čipu fokusovaným iontovým svazkem a detekování množství sekundárních částic emitovaných z opracovávaného vícevrstvého polovodičového čipu, na který dopadá fokusovaný iontový svazek a ukládání diskretních hodnot získaných zprůměrováním detekovaného množství sekundárních částic z opracovávaného vícevrstvého polovodičového čipu se vzorkovací frekvencí 2 Hz do paměti. Na grafu na obr. 4 jsou viditelné uložené diskretní hodnoty, přičemž z grafu je patrné, že signál neobsahuje větší počet lokálních minim, než je požadovaný počet lokálních minim, a proto je tento signál považovaný za nezašuměný. Zároveň jsou opakovaně prováděny kroky druhé skupiny kroků, až do zaznamenání požadovaného počtu lokálních minim, přičemž na obr. 4, 5 a 6 je vidět konečný stav, při kterém dojde k zastavení opracovávání. Druhá skupina kroků zahrnuje v tomto příkladném provedení sekvenci kroků: transformování uložených diskretních hodnot, vynulování části transformovaných diskretních hodnot, vytvoření filtrovaného signálu, průměrování filtrovaného signálu, detekování počtu piků a vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku. V kroku transformování uložených diskretních hodnot je provedeno transformování uložených diskretních hodnot podle frekvencí do části detail 1 a do části aproximace 1 provedením jednostupňové vlnkové transformace uložených diskretních hodnot podle dekompozičních filtrů mateřské vlnky Daubechies-4. V kroku vynulování části transformovaných diskretních hodnot je vynulována část detail 1. V kroku vytvoření filtrovaného signálu je vytvořen filtrovaný signál provedením jednoúrovňové zpětné diskretní vlnkové transformace transformovaných diskretních hodnot podle rekonstrukčních filtrů mateřské vlnky Daubechies-4. Takto vytvořený filtrovaný signál je vidět na grafu na obr. 5. V následujícím kroku průměrování filtrovaného signálu jsou hodnoty filtrovaného signálu zprůměrovány za použití plovoucího okna, přičemž zprůměrovány jsou hodnoty filtrovaného signálu nacházející se v tomto okně. Maximální délka plovoucího okna je v tomto příkladném provedení 5 % z aktuální délky filtrovaného signálu a zároveň maximální délka odpovídá nejvýše počtu 10 diskretních hodnot. Takto zprůměrovaný filtrovaný signál je viditelný na grafu na obr. 6. V kroku detekování počtu piků je detekován počet lokálních minim. Následně je proveden krok vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku, jelikož byla zaznamenána požadovaná dvě lokální minima. Tato informace je následně přenesena z

vyhodnocovací jednotky do řídicí jednotky a je proveden krok ukončení ozařování jednotlivých opracovávaných bodů vícevrstvého polovodičového čipu fokusovaným iontovým svazkem.

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem pomocí systému zahrnujícího iontový tubus se zdrojem iontů uzpůsobený pro ozařování vzorku fokusovaným iontovým svazkem, pracovní komoru, k níž je připojen iontový tubus, detektor sekundárních částic, jež je umístěn v pracovní komoře nebo v iontovém tubusu, držák vzorku umístěný v pracovní komoře a uzpůsobený pro umístění vzorku, vzorek umístěný v držáku vzorku a vyhodnocovací jednotku obsahující paměť, v níž je uložena alespoň informace o požadovaném počtu piků, zahrnující první skupinu kroků:

– ozařování jednotlivých opracovávaných bodů v opracovávané oblasti vzorku fokusovaným iontovým svazkem a detekování množství sekundárních částic emitovaných z opracovávané oblasti vzorku a ukládání diskretních hodnot získaných zpřůměrováním detekovaného množství sekundárních částic z celé opracovávané oblasti vzorku s vzorkovací frekvencí v rozsahu 1 až 3 Hz do paměti,

a **vyznačující se tím**, že dále zahrnuje druhou skupinu kroků prováděných simultánně s první skupinou kroků, přičemž druhá skupina kroků je prováděna vyhodnocovací jednotkou a přičemž druhá skupina kroků zahrnuje sekvenci kroků:

– transformování uložených diskretních hodnot podle frekvencí alespoň do části detail 1 a do části aproximace 1 provedením alespoň jedноступňové diskretní vlnkové transformace uložených diskretních hodnot podle dekompozičních filtrů mateřské vlnky,

– vynulování části detail 1,

– vytvoření filtrovaného signálu provedením zpětné diskretní vlnkové transformace transformovaných diskretních hodnot podle rekonstrukčních filtrů mateřské vlnky,

– detekování počtu piků filtrovaného signálu,

– vydání příkazu k zastavení opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem po dosažení daného počtu piků dle informace o požadovaném počtu piků,

přičemž první skupina kroků dále obsahuje krok ukončení ozařování jednotlivých opracovávaných bodů vzorku fokusovaným iontovým svazkem poté, co je vydán příkaz k zastavení opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem.

2. Způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že v kroku transformování uložených diskretních hodnot jsou uložené diskretní hodnoty separovány alespoň do části detail 1, do části detail 2, do části detail 3 a do části aproximace 3 provedením čtyřstupňové diskretní vlnkové transformace uložených diskretních hodnot podle dekompozičních filtrů mateřské vlnky.

3. Způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že v kroku vynulování části transformovaných diskretních hodnot jsou vynulovány části detail 1, detail 2 a detail 3.

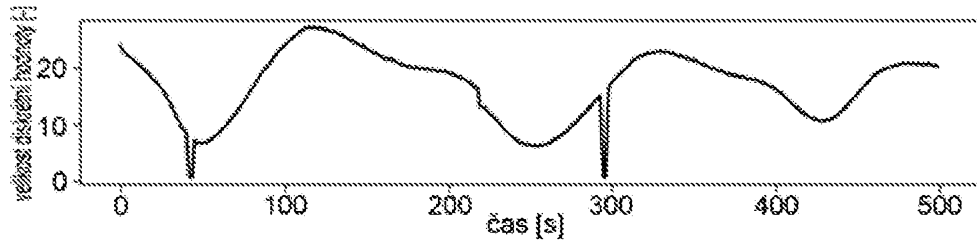
4. Způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem podle kteréhokoliv z předchozích nároků **vyznačující se tím**, že po kroku vytvoření filtrovaného signálu a před krokem detekování počtu piků je dále vyhodnocovací jednotkou proveden krok průměrování filtrovaného signálu s použitím plovoucího okna a zpřůměrováním velikosti hodnot filtrovaného signálu nacházejících v tomto plovoucím okně.

5. Způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že délka plovoucího okna odpovídá počtu detekovaných diskretních hodnot až do maximální délky plovoucího okna odpovídající 3 až 15 % z aktuálního počtu detekovaných diskretních hodnot, avšak maximálně do délky plovoucího okna odpovídající nejvýše počtu 100 diskretních hodnot.
6. Způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že po kroku detekování počtu piků a před krokem vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku je dále vyhodnocovací jednotkou proveden krok vynechání blízkých piků, přičemž blízké píky jsou takové píky, jejichž vzdálenost od nejbližšího píku je menší než 50 % průměrné hodnoty vzdálenosti mezi jednotlivými po sobě jdoucími píky.
7. Způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že po kroku detekování počtu piků filtrovaného signálu a před krokem vydání příkazu k zastavení opracovávání vzorku fokusovaným iontovým svazkem je dále vyhodnocovací jednotkou proveden krok vynechání posledního píku.
8. Způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že píky jsou lokální maxima filtrovaného signálu.
9. Způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem podle kteréhokoliv z nároků 1 až 7, **vyznačující se tím**, že píky jsou lokální minima filtrovaného signálu.
10. Způsob automatické detekce požadovaného píku při opracování vzorku fokusovaným iontovým svazkem podle kteréhokoliv z předchozích nároků, **vyznačující se tím**, že mateřskou vlnkou je Daubechies-4.

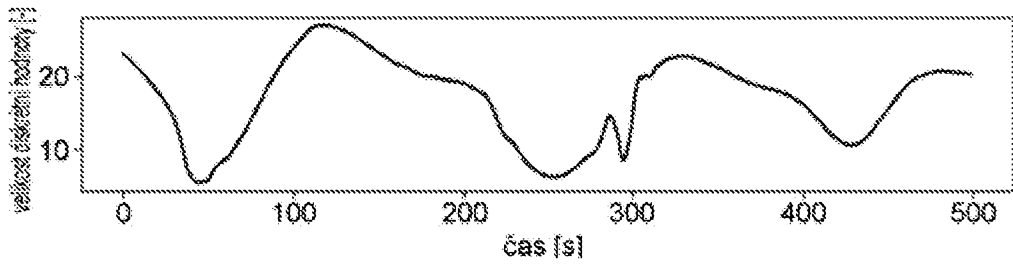
2 výkresy

#### Seznam vztahových značek

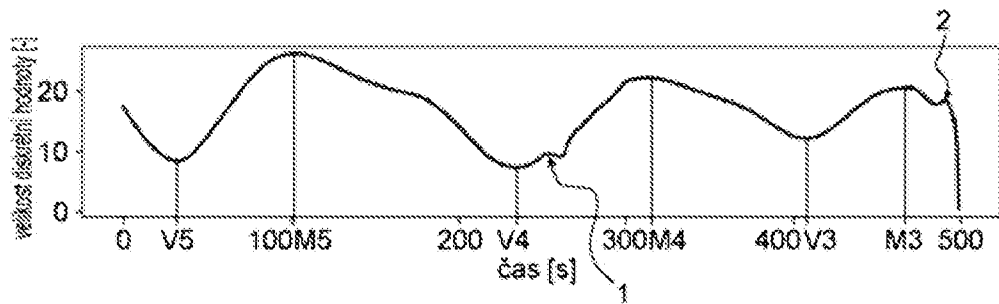
- 1 – lokální maximum
- 2 – poslední lokální maximum



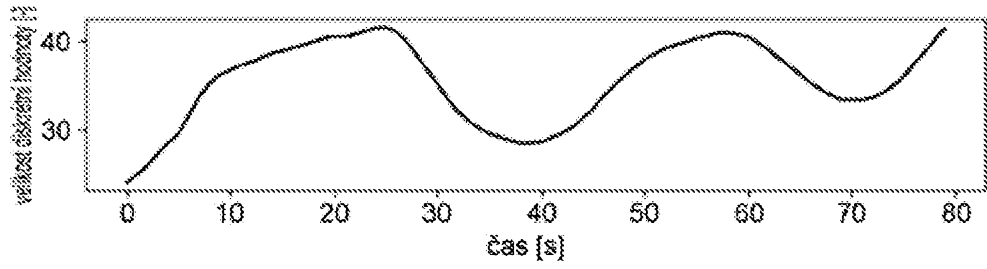
Obr. 1



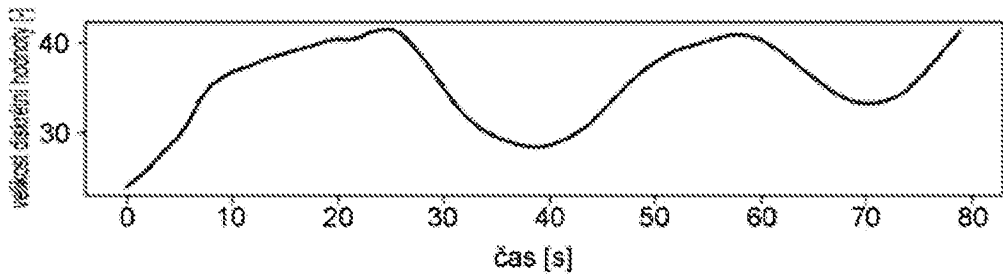
Obr. 2



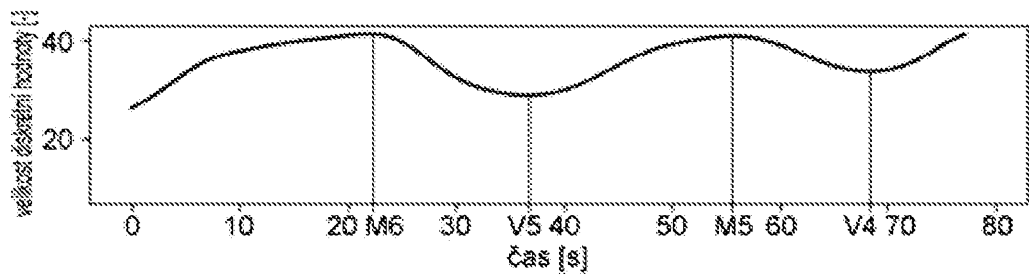
Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5



Obr. 6