

PŘÍHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(21) Číslo dokumentu:

2000 - 4320

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **20.11.2000**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **13.11.2002**
(Věstník č. 11/2002)

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl. ⁷:

G 01 N 23/00

(71) Přihlašovatel:

ÚSTAV RADIOTECHNIKY A ELEKTRONIKY AV
ČR, Praha, CZ;

(72) Původce:

Čtyřoky Jiří Doc. Ing. DrSc., Praha, CZ;

Dostálek Jakub Mgr., Jiloviště, CZ;

Homola Jiří Ing. CSc., Praha, CZ;

(74) Zástupce:

Patentové a licenční služby

Kancelář AV ČR, tř. Politických vězňů 7, Praha 1,
11121;

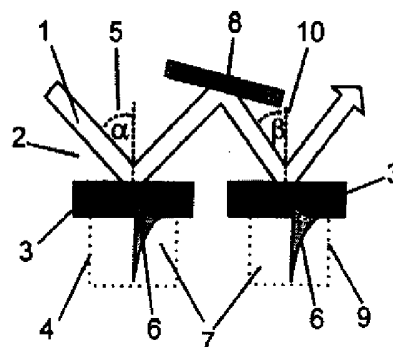
(54) Název přihlášky vynálezu:

**Způsob vícekanálové detekce pro optické senzory
s povrchovými plasmony a senzorový element k
provádění tohoto způsobu**

(57) Anotace:

Při způsobu detekce se povrchové plasmy postupně excitují elektromagnetickým zářením v různých prostorových oblastech alespoň jednoho senzorového elementu, přičemž v těchto oblastech se povrchové plasmy excitují odlišnými oblastmi vlnových délek spektra elektromagnetického záření. Tento způsob vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony a spektrálním vyhodnocováním lze provádět i paralelně v alespoň dvou oblastech senzorového elementu ve směru kolmém ke směru šíření elektromagnetického záření s využitím rozdílných svazků či částí svazků elektromagnetického záření. Zdrojem elektromagnetického záření mohou být alespoň dva zdroje emitující monochromatické elektromagnetické záření nebo zdroj bílého světla. Vycházející záření se detekuje spektrografem či alespoň dvěma detektory s rozdílnými spektrálními účinnostmi. Senzorový element (12) vícekanálového senzoru s povrchovými plasmony k provádění způsobu podle vynálezu má tvar destičky s nerovnoběžnými protilehlými stěnami s alespoň jednou stěnou pokrytou kovovou vrstvou (3) pro postupnou excitaci povrchových

plasmonů nebo tvar destičky s rovnoběžnými nebo nerovnoběžnými protilehlými stěnami s alespoň jednou stěnou pokrytou kovovou vrstvou (3), přičemž kovová vrstva (3) je v alespoň jedné oblasti pokryta alespoň jednou dielektrickou vrstvou. senzorový element (12) může být případně zkonstruován jako integrovaně-optický vlnovod, jehož povrch je pokryt alespoň v jednom úseku kovovou vrstvou (3), přičemž kovová vrstva (3) je alespoň v jedné oblasti pokryta alespoň jednou dielektrickou vrstvou nebo jako optické vlákno jehož povrch je pokryt alespoň v jednom úseku kovovou vrstvou (3), přičemž kovová vrstva (3) je alespoň v jedné oblasti pokryta alespoň jednou dielektrickou vrstvou.





Způsob vícekanálové detekce pro optické senzory s povrchovými plasmony a senzorový element k provádění tohoto způsobu

Oblast techniky

Vynález se týká způsobu vícekanálové detekce v optických senzorech s povrchovými plasmony a senzorového elementu k provádění tohoto způsobu.

Dosavadní stav techniky

Senzory patří mezi moderní prostředky pro měření fyzikálních, chemických a biologických veličin. Moderní senzory využívají rozličných metod – elektrických, optických, mechanických apod. Jednou z optických metod užívaných v senzorech je metoda optické excitace povrchových plasmonů. Povrchové plasmony jsou elektromagnetické vlny, které lze za určitých okolností vybudit například na rozhraní mezi kovem a dielektrikem (H. Raether: Surface plasmons on smooth and rough surfaces and on gratings, Springer - Verlag, Berlin, 1988). Protože elektromagnetické pole povrchového plasmonu je soustředěno při rozhraní v dielektrickém prostředí, jsou povrchové plasmony velmi citlivé ke změnám optických parametrů dielektrického prostředí. V optických senzorech jsou povrchové plasmony buzeny elektromagnetickým zářením ve viditelné a infračervené oblasti spektra. Podmínka rezonanční vazby mezi elektromagnetickým zářením a povrchovými plasmony přitom závisí na indexu lomu dielektrika. Proto lze změny indexu lomu dielektrika určit pomocí monitorování parametrů interakce mezi optickou vlnou a povrchovými plasmony. Senzory s povrchovými plasmony mohou sloužit jako citlivé refraktometry. Senzory s povrchovými plasmony lze rovněž využít pro detekci chemických a biologických látek. Pro tento účel se senzory s povrchovými plasmony kombinují s vhodnými materiály, které interagují specificky s vybranou látkou (například protilátky, enzymy, DNA, atd.). Interakce mezi specifickou látkou upevněnou na povrchu senzoru a detekovanou látkou ve vzorku vede k lokálnímu zvýšení indexu lomu v blízkosti povrchu senzoru, které je detekováno pomocí opticky excitovaných povrchových plasmonů.

V současnosti existuje řada konfigurací, ve kterých je optická excitace povrchových plasmonů realizována. Tyto metody využívají hranolových (Sensors and Actuators, 4 (1983) 299 – 304; Electronics Letters, 23 (1988) 1469 – 1470) a mřížkových (Sensors and Actuators B, 8 (1992) 155 – 160) vazebních elementů či vláknových (Sensors and Actuators B, 12 (1993) 213 – 220; Analytical Chemistry, 66 (1994) 963 – 970) a integrovaně-optických vlnovodných struktur (Sensors and Actuators B, 22 (1994) 75 – 81). Největšího rozšíření dosáhly optické senzory s povrchovými plasmony využívající Kretschmannovu geometrii metody tlumeného totálního odrazu (H. Raether:



Surface plasmons on smooth and rough surfaces and on gratings, Springer - Verlag, Berlin, 1988). V této konfiguraci prochází elektromagnetické záření optickým vazebním hranolem s tenkou kovovou vrstvou. Při úplném odrazu záření na rozhraní hranol – kovová vrstva dochází k excitaci povrchového plasmonu na vnější hranici kovové vrstvy, která je provázena absorbcí energie elektromagnetického záření. Rezonanční podmínka, při které dochází k maximální absorpci dopadajícího záření, závisí na vlastnostech použitého hranolu a kovové vrstvy, vlnové délce, úhlu dopadu a především na indexu lomu prostředí přilehlého k vnější hranici kovové vrstvy. Změny indexu lomu přilehlého prostředí (vzorku) lze určit měřením rezonanční vlnové délky při pevném úhlu dopadu (Electronics Letters, 23 (1988) 1469 – 1470), rezonančního úhlu dopadu při pevné vlnové délce (Applied Optics, 27 (1988) 1160 – 1163), intenzity (Sensors and Actuators B, 11 (1993) 455 – 459) a fáze (Sensors and Actuators B, 35-36 (1996) 187 – 191) při pevném úhlu dopadu a vlnové délce.

Vícekanálové senzorové systémy jsou žádoucí pro současnou detekci více veličin a pro potlačení vlivu rušivých efektů (např. změny indexu lomu vzorku v důsledku teplotních změn) pro přesnější a spolehlivější měření. V současnosti existuje několik způsobů vícekanálové detekce pomocí opticky excitovaných povrchových plasmonů (Sensors and Actuators B, 5 (1991) 79 – 84; Sensors and Actuators B, 51 (1998) 38 – 45; United States patent # 5,822,073; Sensors and Actuators B, 37 (1996) 145 – 150; Electronics Letters, 35 (1999) 1105-1106; Analytical Chemistry, 70 (1998) 703 – 706).

Vícekanálové senzory s povrchovými plasmony mohou být například realizovány jako struktury s paralelními senzorovými oblastmi (kanály), ve kterých jsou použity oddělené svazky či různé oblasti svazků elektromagnetického záření (Sensors and Actuators B, 5 (1991) 79 – 84; Sensors and Actuators B, 51 (1998) 38 – 45) a excitace povrchových plasmonů je vyvolána pomocí jediného vazebního elementu. Elektromagnetické záření excituje povrchové plasmony současně ve všech senzorových oblastech a odezvy jednotlivých senzorových oblastí jsou sledovány pomocí individuálních detektorů či oblastí detektorového pole (Sensors and Actuators B, 5 (1991) 79 – 84) či přepínáním signálů od jednotlivých senzorových oblastí na jediný detektor či oblast detektorového pole (Sensors and Actuators B, 51 (1998) 38 – 45). Tato uspořádání se vyznačují vysokou komplexností optického systému a vysokou cenou. Zjednodušení optického systému senzoru lze dosáhnout tak, že elektromagnetické záření excituje povrchové plasmony současně v několika senzorových oblastech se vzájemně odlišnými konstantami šíření povrchových plasmonů. V takovém případě obsahuje spektrum odraženého svazku elektromagnetického záření sérii absorpčních pásů odpovídajících excitaci povrchových plasmonů v různých oblastech povrchu senzoru (Electronics Letters, 35 (1999) 1105-1106). Měřením spektra vystupujícího elektromagnetického záření lze potom určit vývoj poloh jednotlivých absorpčních pásů a tím i odezvy všech senzorových oblastí současně. Nevýhodou tohoto uspořádání jsou vysoké nároky na kvalitu hranic jednotlivých oblastí povrchu



senzoru a kontrast absorbčních pásů klesající s počtem z oblastí s odlišnými konstantami šíření povrchových plasmonů. Další metoda vícekanálové detekce využívá speciálního sensorového elementu s mnohonásobným odrazem elektromagnetického záření uvnitř elementu (United States patent # 5,822,073). Do tohoto sensorového elementu je zavedeno širokopásmové elektromagnetické záření, které dopadá na stěny elementu v široké oblasti úhlů. Záření dopadající na stěny elementu pod různými úhly dopadu je po průchodu sensorovým elementem rozděleno podle úhlu dopadu do několika svazků. Provedením spektrální analýzy každého z nich lze dosáhnout vícekanálové detekce (United States patent # 5,822,073). Další metoda vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony (Analytical Chemistry, 70 (1998) 703 – 706) využívá hranolového vazebního elementu a uspořádání sensorových oblastí do matice, přičemž povrchové plasmony jsou excitovány kolimovaným svazkem monochromatického záření, který je po průchodu vazebním členem detekován polem fotodetektorů. Z prostorového rozložení intenzity elektromagnetického záření se určují změny intenzity způsobené excitací povrchových plasmonů v jednotlivých sensorových oblastech. Nevýhodou tohoto způsobu je intenzitní povaha detekce, která se ve srovnání se sensorovými systémy založenými na určování rezonační vlnové délky a rezonančního úhlu dopadu elektromagnetického záření vyznačuje nižším poměrem mezi signálem a šumem, což nepříznivě ovlivňuje rozlišení senzoru.

Podstata vynálezu

Předmětem vynálezu je způsob vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony a spektrálním vyhodnocováním, jehož podstata spočívá v tom, že se povrchové plasmony postupně excitují elektromagnetickým zářením v různých prostorových oblastech alespoň jednoho sensorového elementu, (sériové uspořádání sensorových oblastí) přičemž v těchto oblastech se povrchové plasmony excitují odlišnými oblastmi vlnových délek spektra elektromagnetického záření.

Tato metoda vícekanálové detekce je tak principiálně odlišná od existujících metod vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony, které využívají rozdílné svazky či části svazku elektromagnetického záření pro excitaci povrchových plasmonů v různých sensorových oblastech (*paralelní* uspořádání sensorových oblastí).

Elektromagnetické záření se při provádění způsobu podle vynálezu vyzařuje z alespoň dvou zdrojů emitujících monochromatické elektromagnetické záření nebo ze zdroje bílého světla.

Na výstupu se záření detekuje spektrografem či alespoň dvěma detektory s rozdílnými spektrálními účinnostmi.

Postupné excitace povrchových plasmonů různými oblastmi vlnových délek spektra elektromagnetického záření v různých oblastech sensorového elementu lze dosáhnout speciální

konstrukcí senzorového elementu. Excitace povrchových plasmonů je provázána absorbcí elektromagnetického záření na vlnových délkách charakteristických pro jednotlivé senzorové oblasti. Spektrum elektromagnetického záření vystupujícího ze senzorového elementu proto obsahuje různé absorbní pásy odpovídající excitacím povrchových plasmonů v jednotlivých senzorových oblastech. Měřením spektra vystupujícího elektromagnetického záření lze potom určit vývoj poloh jednotlivých absorbních pásů a tím i odezvy všech senzorových oblastí současně. Zajištění rozdílných rezonančních podmínek v různých senzorových oblastech lze dosáhnout: a) změnou rezonanční podmínky pro excitaci povrchové vlny s pomocí vrstev na povrchu kovové vrstvy, b) změnou velikosti momentu elektromagnetického záření excitujícího povrchový plasmon ve směru šíření povrchového plasmonu, nebo kombinací těchto dvou metod.

Metodu vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony, používající pro dosažení rozdílných podmínek excitace povrchových plasmonů v jednotlivých oblastech senzorového elementu změn v úhlu dopadu elektromagnetického záření, lze realizovat dále popsaným způsobem. Elektromagnetické záření obvykle ve viditelné či infračervené oblasti spektra se šíří prostředím, jehož index lomu je vyšší než index lomu vzorku a dopadá na aktivní plochu s tenkou kovovou vrstvou v první senzorové oblasti pod úhlem dopadu α . Elektromagnetické záření se odráží na rozhraní senzorový element – kovová vrstva a excituje povrchový plasmon na rozhraní kovové vrstvy a vzorku. Excitace povrchového plasmonu je provázána absorbcí energie elektromagnetického záření v úzké oblasti spektra, jež je pro první senzorovou oblast charakteristická. Po odrazu a případných dalších odrazech od od jedné či více pomocných odrazných ploch dopadá záření na aktivní plochu s tenkou kovovou vrstvou v druhé senzorové oblasti pod jiným úhlem dopadu β , než v první senzorové oblasti. Protože rezonanční vlnová délka závisí na úhlu dopadu elektromagnetického záření, dochází v druhé senzorové oblasti k excitaci povrchového plasmonu jinou oblastí vlnových délek elektromagnetického záření, než v první senzorové oblasti. Záření vystupující ze senzorového elementu vykazuje proto dva absorbní pásy. Jejich spektrální vzdálenost lze ovlivňovat prostřednictvím rozdílu mezi úhly dopadu α a β .

Metodu vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony používající pro dosažení rozdílných podmínek excitace povrchových plasmonů v jednotlivých oblastech senzorového elementu vrstev na povrchu kovové vrstvy lze realizovat následujícím způsobem. Elektromagnetické záření obvykle ve viditelné či infračervené oblasti spektra se šíří prostředím, jehož index lomu je vyšší než index lomu vzorku a dopadá na aktivní plochu s tenkou kovovou vrstvou v první senzorové oblasti. Elektromagnetické záření se odráží na rozhraní senzorový element – kovová vrstva a excituje povrchový plasmon na rozhraní kovové vrstvy a vzorku. Excitace povrchového plasmonu je provázána absorbcí energie elektromagnetického záření v úzké oblasti spektra, jež je pro první



senzorovou oblast charakteristická. Po odrazu a případných dalších odrazech od jedné či více pomocných odrazných ploch dopadá záření na aktivní plochu sensorového elementu v druhé sensorové oblasti, která kromě kovové vrstvy obsahuje také překryvovou vrstvu. Přítomnost překryvové vrstvy na povrchu kovu způsobuje, že excitace povrchového plasmonu v druhé sensorové oblasti nastává na jiné vlnové délce elektromagnetického záření než odpovídá excitaci povrchového plasmonu v první sensorové oblasti. Spektrum vystupujícího záření proto vykazuje dva absorpční pásy. Spektrální vzdálenost pozorovaných absorpčních pásů odpovídajících jednotlivým sensorovým oblastem lze účinně ovlivňovat prostřednictvím tloušťky a indexu lomu překryvové vrstvy.

Výše popsaný způsob vícekanálové detekce využívající postupné excitace plasmonů v různých oblastech sensorového elementu lze pro dosažení vyššího počtu sensorových kanálů kombinovat s paralelním uspořádáním sensorových oblastí, způsob podle vynálezu se pak provádí paralelně v alespoň dvou oblastech sensorového elementu ve směru kolmém ke směru šíření elektromagnetického záření s využitím rozdílných svazků či částí svazků elektromagnetického záření.

Navržený způsob vícekanálové detekce lze realizovat s použitím speciálního sensorového elementu, v němž lze dosáhnout rozdílných rezonančních podmínek v různých sensorových oblastech:

a) změnou rezonanční podmínky pro excitaci povrchové vlny s pomocí vrstev na povrchu kovové vrstvy, případně změnou jejích parametrů, b) změnou velikosti momentu elektromagnetického záření excitujícího povrchový plasmon ve směru šíření povrchového plasmonu, případně kombinací těchto dvou metod.

Speciální sensorový element lze konstruovat jako objemově-optický, integrovaně-optický nebo vláknově-optický.

Objemově optický sensorový element má tvar destičky s nerovnoběžnými protilehlými stěnami s alespoň jednou stěnou pokrytou kovovou vrstvou pro postupnou excitaci povrchových plasmonů, nebo tvar destičky s rovnoběžnými nebo nerovnoběžnými protilehlými stěnami s alespoň jednou stěnou pokrytou kovovou vrstvou, přičemž kovová vrstva je v alespoň jedné oblasti pokryta alespoň jednou dielektrickou vrstvou.

Integrovaně optický sensorový element sestává z integrovaně-optického vlnovodu, jehož povrch je alespoň v jednom úseku pokryt kovovou vrstvou, přičemž kovová vrstva je alespoň v jedné oblasti pokryta alespoň jednou dielektrickou vrstvou.

Vláknově optický sensorový element sestává z optického vlákna, jehož povrch je alespoň v jednom úseku pokryt kovovou vrstvou, přičemž kovová vrstva je alespoň v jedné oblasti pokryta alespoň jednou dielektrickou vrstvou.

Sensorový element je zpravidla opatřen v alespoň jedné oblasti speciální vrstvou pro detekci chemických či biologických látek.

Objemově-optické sensorové elementy umožňující způsob vícekanálové detekce podle vynálezu lze vyrobit tradičními metodami (řezání, broušení, leštění, atd.) ze skel, případně lisováním či litím polymerů. Integrovaně-optické sensorové elementy umožňující způsob vícekanálové detekce podle vynálezu lze vyrobit například vakuovým napařením dielektrických vrstev s vysokým indexem lomu na optické podložky či iontovou výměnou ve sklech speciálního složení. Tenké kovové vrstvy, na kterých jsou povrchové plasmony excitovány (např. zlato, stříbro) a případné překryvové dielektrické vrstvy (např. oxid titaničitý, oxid tantaličný, oxid ytritý), lze zhotovit metodami jako jsou vakuové napařování, naprašování, plasmová polymerace.

Způsob vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony a spektrálním vyhodnocováním podle vynálezu umožňuje realizovat vícekanálovou detekci a potlačit tak rušivé vlivy pozadí (např. fluktuace teploty, tlaku) na přesnost a spolehlivost sensorových měření. V kombinaci s vhodnými materiály reagujícími specificky na přítomnost vybraných chemických a biologických látek, umožňuje způsob vícekanálové detekce podle vynálezu současnou detekci vybraných látek v komplexních vzorcích v reálném čase a bez značkování detekovaných látek. Způsob vícekanálové detekce podle vynálezu umožňuje vícekanálovou detekci bez použití maticových detektorů (Sensors and Actuators B, 5 (1991) 79 – 84) či přepínání signálů z jednotlivých sensorových oblastí na jeden detektor (Sensors and Actuators B, 51 (1998) 38 – 45). Narozdíl od metody využívající paralelní detekce na sensorových površích s oblastmi s odlišnými konstantami šíření povrchových plasmonů (Electronics Letters, 35 (1999) 1105-1106) je způsob vícekanálové detekce podle vynálezu výhodnější především proto, že neklade nároky na kvalitu hranic překryvových vrstev a poskytuje lepší kontrast absorbčních pásů analyzovaného elektromagnetického záření a tudíž lepší rozlišení. V porovnání s vícekanálovými senzory s povrchovými plasmony s intenzitní detekcí (Analytical Chemistry, 70 (1998) 703 – 706), využívá způsob vícekanálové detekce podle vynálezu měření rezonanční vlnové délky záření, což umožňuje dosahovat lepšího poměru signál-šum a tím i vyššího rozlišení senzoru. Způsob vícekanálové detekce podle vynálezu má tedy, ve srovnání s dosud známými metodami řešení vícekanálového senzoru s povrchovými plasmony, výhodu ve vyšším rozlišení a nižší komplexnosti a tím i ceně optického systému senzoru.

Přehled obrázků na výkresech

Vynález bude blíže osvětlen pomocí výkresů. Obr. 1. znázorňuje metodu vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony používající pro dosažení rozdílných podmínek excitace povrchových plasmonů v jednotlivých oblastech sensorového elementu změn v úhlu dopadu elektromagnetického záření. Obr. 2 znázorňuje metodu vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony používající pro dosažení rozdílných podmínek excitace povrchových

plasmonů v jednotlivých oblastech sensorového elementu překryvových vrstev na povrchu kovové vrstvy. Obr. 3 znázorňuje provedení speciálního sensorového elementu pro provedení metody dle vynálezu, založené na transparentní destičce s nerovnoběžnými stěnami umožňující postupnou excitaci povrchových plasmonů v jednotlivých oblastech sensorového elementu, elektromagnetickým zářením na různých vlnových délkách. Obr. 4 znázorňuje provedení speciálního sensorového elementu pro provedení metody dle vynálezu, založené na transparentní destičce s kovovou vrstvou částečně pokrytou další vrstvou, umožňující postupnou excitaci povrchových plasmonů v jednotlivých oblastech sensorového elementu elektromagnetickým zářením na různých vlnových délkách. Obr. 5 znázorňuje provedení speciálního sensorového elementu pro provedení metody dle vynálezu, založené na integrovaně-optickém vlnovodu s kovovou vrstvou částečně pokrytou další vrstvou, umožňující postupnou excitaci povrchových plasmonů v jednotlivých oblastech sensorového elementu elektromagnetickým zářením na různých vlnových délkách. Obr. 6 znázorňuje provedení speciálního sensorového elementu pro provedení metody dle vynálezu, založené na optickém vlákne s částečně odstraněným pláštěm a kovovou vrstvou částečně pokrytou další vrstvou umožňující postupnou excitaci povrchových plasmonů v jednotlivých oblastech sensorového elementu elektromagnetickým zářením na různých vlnových délkách.

Příklady provedení vynálezu

Příklad 1

Obr. 1 znázorňuje provedení metody vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony používající pro dosažení rozdílných podmínek excitace povrchových plasmonů v jednotlivých oblastech sensorového elementu změn v úhlu dopadu elektromagnetického záření. Elektromagnetické záření 1 se zavede do prostředí 2, jehož index lomu je vyšší než index lomu vzorku 7, a dopadá na tenkou kovovou vrstvu 3 v první sensorové oblasti 4 pod úhlem dopadu α 5. Při odrazu elektromagnetického záření na kovové vrstvě se excituje povrchový plasmon 6 na rozhraní kovové vrstvy 3 a vzorku 7. Excitace povrchového plasmonu je provázena absorbcí energie elektromagnetického záření v úzké oblasti spektra, jež je pro sensorovou oblast 4 charakteristická. Po odrazu a případných dalších odrazech od od jedné či více pomocných odrazných ploch 8 záření dopadá na tenkou kovovou vrstvu 3 v druhé sensorové oblasti 9 pod jiným úhlem dopadu β 10, než v první sensorové oblasti 4. Protože rezonanční vlnová délka závisí na úhlu dopadu elektromagnetického záření, v oblasti B se povrchový plasmon 6 excituje na rozhraní kovové vrstvy a vzorku 7 jinou oblastí vlnových délek elektromagnetického záření, než v oblasti 4. Záření vystupující ze sensorového elementu vykazuje proto dva absorpční pásy. Jejich spektrální vzdálenost lze ovlivňovat velikostí rozdílu úhlů dopadu α a β na sensorové oblasti 4 a 9.

Příklad 2

Obr. 2 znázorňuje provedení metody vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony používající pro dosažení rozdílných podmínek excitace povrchových plasmonů v jednotlivých oblastech sensorového elementu překryvových vrstev na povrchu kovové vrstvy. Elektromagnetické záření 1 se zavede do prostředí 2, jehož index lomu je vyšší než index lomu vzorku, a dopadá na aktivní plochu s tenkou kovovou vrstvou 3 v první sensorové oblasti 4. Při odrazu elektromagnetického záření na kovové vrstvě se excituje povrchový plasmon 6 na rozhraní kovové vrstvy a vzorku 7. Excitace povrchového plasmonu je provázána absorbcí energie elektromagnetického záření v úzké oblasti spektra, jež je pro sensorovou oblast 4 charakteristická. Po odrazu a případných dalších odrazech od jedné či více pomocných odrazných ploch 8 záření dopadá na aktivní plochu sensorového elementu v druhé sensorové oblasti 9, která kromě kovové vrstvy 3 obsahuje také překryvovou vrstvu 11. Přítomnost překryvové vrstvy na povrchu kovu způsobuje, že v druhé sensorové oblasti 9 se povrchový plasmon 6 excituje na jiné vlnové délce elektromagnetického záření než odpovídá excitaci povrchového plasmonu v první sensorové oblasti 4. Spektrum výstupujícího záření proto vykazuje dva absorpční pásy. Spektrální vzdálenost pozorovaných absorpčních pásů odpovídajících jednotlivým sensorovým oblastem lze účinně ovlivňovat prostřednictvím tloušťky a indexu lomu překryvové vrstvy.

Příklad 3

Navržený způsob vícekanálové detekce lze realizovat s použitím speciálního sensorového elementu. Speciální sensorový element lze konstruovat jako transparentní destičku s nerovnoběžnými stěnami, Obr. 3. Elektromagnetické záření 1 vstupuje do sensorového elementu 12, dopadá na aktivní plochu s tenkou kovovou vrstvou 3 v první sensorové oblasti 4 pod úhlem dopadu α 5 a excituje povrchový plasmon 6 na vnější hranici kovové vrstvy. Excitace povrchového plasmonu je provázána absorbcí energie elektromagnetického záření v úzké oblasti spektra, jež je pro první sensorovou oblast 4 charakteristická. Záření se odráží od odrazné stěny sensorového elementu 8, která není rovnoběžná s aktivní plochou sensorového elementu a dopadá na aktivní plochu sensorového elementu v druhé sensorové oblasti 9 pod úhlem dopadu β 10, který je různý od úhlu dopadu v sensorové oblasti 4 ($\beta \neq \alpha$), a proto dochází v druhé sensorové oblasti 9 k excitaci povrchového plasmonu 6 jinou oblastí vlnových délek elektromagnetického záření, než v oblasti 4. Každý sensorový element může obsahovat jednu či více odrazných stěn, přičemž sensorová oblast s kovovou vrstvou může sloužit zároveň jako odrazná stěna. Sensorový element může obsahovat až dvě nebo více sensorových oblastí. Záření vystupující ze sensorového elementu vykazuje absorpční pás pro každou sensorovou oblast.

Měřením spektra vystupujícího elektromagnetického záření lze potom určit vývoj poloh jednotlivých absorpčních pásů a tím i odezvy všech senzorových oblastí současně.

Příklad 4

Navržený způsob vícekanálové detekce lze realizovat s použitím speciálního senzorového elementu. Speciální senzorový element lze konstruovat jako transparentní destičku s kovovou vrstvou částečně pokrytou další vrstvou, Obr. 4. Elektromagnetické záření 1 vstupuje do senzorového elementu 12, dopadá na aktivní plochu s tenkou kovovou vrstvou 3 v první senzorové oblasti 4 a excituje povrchový plasmon 6 na vnější hranici kovové vrstvy. Excitace povrchového plasmonu je provázána absorpcí energie elektromagnetického záření v úzké oblasti spektra, jež je pro senzorovou oblast 4 charakteristická. Záření se odráží od odrazné stěny senzorového elementu 8, dopadá znovu na aktivní plochu senzorového elementu v druhé senzorové oblasti 9, která kromě kovové vrstvy 3 obsahuje i překryvovou vrstvu 11. Přítomnost překryvové vrstvy na povrchu kovu způsobuje, že excitace povrchového plasmonu v senzorové oblasti 9 nastává na jiné vlnové délce elektromagnetického záření než odpovídá excitaci povrchového plasmonu v senzorové oblasti 4. Každý senzorový element může obsahovat jednu či více odrazných ploch, přičemž senzorová oblast s kovovou vrstvou může sloužit zároveň jako odrazná plocha. Senzorový element může obsahovat dvě nebo více senzorových oblastí. Záření vystupující ze senzorového elementu vykazuje absorpční pás pro každou senzorovou oblast. Měřením spektra vystupujícího elektromagnetického záření lze potom určit vývoj poloh jednotlivých absorpčních pásů a tím i odezvy všech senzorových oblastí současně.

Příklad 5

Navržený způsob vícekanálové detekce lze realizovat s použitím speciálního senzorového elementu. Speciální senzorový element lze konstruovat jako integrovaně-optický vlnovod, který je pokryt alespoň v jednom úseku kovovou vrstvou, a tato vrstva je částečně pokryta překryvovou vrstvou. Elektromagnetické záření 1 je zavedeno do senzorového elementu 12 a v první senzorové oblasti 4 obsahující tenkou kovovou vrstvou 3 excituje na rozhraní kovové vrstvy a vzorku 7 povrchový plasmon 6. Excitace povrchového plasmonu je provázána absorpcí energie elektromagnetického záření v úzké oblasti spektra, jež je pro první senzorovou oblast 4 charakteristická. Záření se poté dále šíří senzorovým elementem do druhé senzorové oblasti 9, která kromě kovové vrstvy 3 obsahuje i překryvovou vrstvu 11. Přítomnost překryvové vrstvy na povrchu kovu způsobuje, že excitace povrchového plasmonu v senzorové oblasti 9 nastává na jiné vlnové délce elektromagnetického záření než odpovídá excitaci povrchového plasmonu v senzorové oblasti 4. Každý senzorový element může obsahovat dvě nebo více senzorových oblastí. Záření vystupující ze senzorového elementu vykazuje

absorbční pás charakteristický pro každou senzorovou oblast. Měřením spektra vystupujícího elektromagnetického záření lze potom určit vývoj poloh jednotlivých absorbčních pásů a tím i odezvy všech senzorových oblastí současně.

Příklad 6

Navržený způsob vícekanálové detekce lze realizovat s použitím speciálního senzorového elementu. Speciální senzorový element lze konstruovat jako vláknový vlnovod s částečně odstraněným pláštěm, který je pokryt alespoň v jednom úseku kovovou vrstvou, a tato vrstva je částečně pokryta překryvovou vrstvou. Elektromagnetické záření 1 je zavedeno do senzorového elementu 12 a v první senzorové oblasti 4 obsahující tenkou kovovou vrstvu 3 excituje na rozhraní kovové vrstvy a vzorku 7 povrchový plasmon 6. Excitace povrchového plasmonu je provázána absorbcí energie elektromagnetického záření v úzké oblasti spektra, jež je pro první senzorovou oblast 4 charakteristická. Záření se poté dále šíří senzorovým elementem do druhé senzorové oblasti 9, která kromě kovové vrstvy 3 obsahuje i překryvovou vrstvu 11. Přítomnost překryvové vrstvy na povrchu kovu způsobuje, že excitace povrchového plasmonu v druhé senzorové oblasti 9 nastává na jiné vlnové délce elektromagnetického záření než odpovídá excitaci povrchového plasmonu v první senzorové oblasti 4. Každý senzorový element může obsahovat dvě nebo více senzorových oblastí. Záření vystupující ze senzorového elementu vykazuje absorbční pás pro každou senzorovou oblast. Měřením spektra vystupujícího elektromagnetického záření lze potom určit vývoj poloh jednotlivých absorbčních pásů a tím i odezvy všech senzorových oblastí současně.

Průmyslová využitelnost

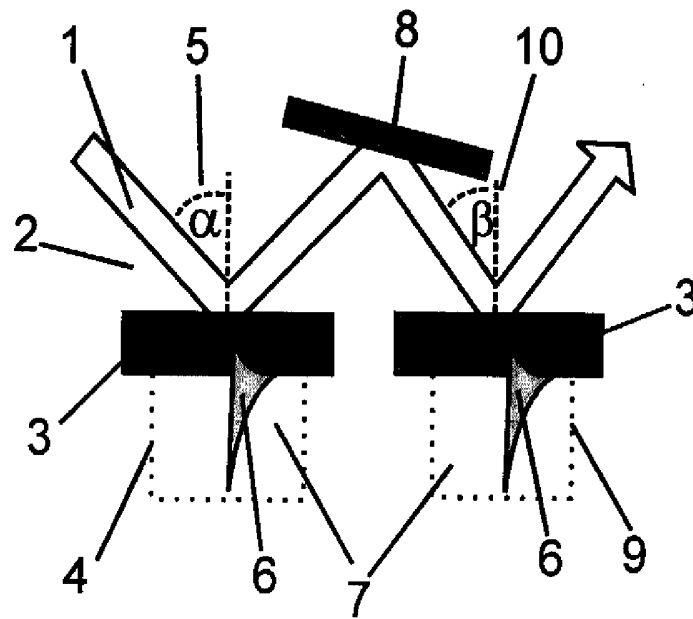
Navrhované řešení může být využito v mnoha oborech, jako je lékařství (stanovení přítomnosti a koncentrací důležitých látek), farmaceutický průmysl (vývoj a kontrola léčiv), potravinářství (kontrola jakosti potravin, detekce škodlivin), ochrana životního prostředí (monitorování znečištění vody a ovzduší), vojenství (detekce otravných látek).

PATENTOVÉ NÁROKY

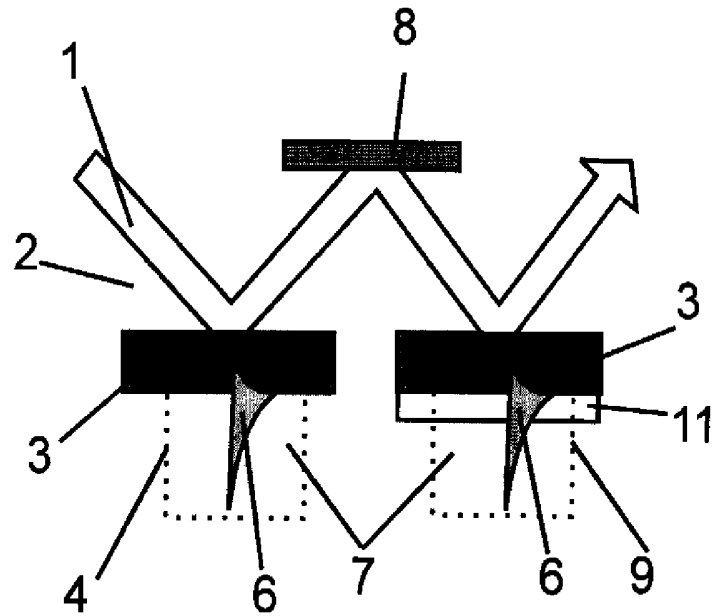
1. Způsob vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony a spektrálním vyhodnocováním, *vyznačující se tím*, že se povrchové plasmony postupně excitují elektromagnetickým zářením v různých prostorových oblastech alespoň jednoho sensorového elementu, přičemž v těchto oblastech se povrchové plasmony excitují odlišnými oblastmi vlnových délek spektra elektromagnetického záření.
2. Způsob vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony a spektrálním vyhodnocováním podle nároku 1, *vyznačující se tím*, že tento způsob se provádí paralelně v alespoň dvou oblastech sensorového elementu ve směru kolmém ke směru šíření elektromagnetického záření s využitím rozdílných svazků či částí svazků elektromagnetického záření.
3. Způsob vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony podle nároku 1, *vyznačující se tím*, že se elektromagnetické záření vyzařuje z alespoň dvou zdrojů emitujících monochromatické elektromagnetické záření nebo ze zdroje bílého světla.
4. Způsob vícekanálové detekce v senzorech s povrchovými plasmony podle nároku 1, *vyznačující se tím*, že vystupující záření se detekuje spektrografem či alespoň dvěma detektory s rozdílnými spektrálními účinnostmi.
5. Sensorový element vícekanálového senzoru s povrchovými plasmony k provádění způsobu podle nároku 1, *vyznačující se tím*, že má tvar destičky s nerovnoběžnými protilehlými stěnami s alespoň jednou stěnou pokrytou kovovou vrstvou pro postupnou excitaci povrchových plasmonů.
6. Sensorový element vícekanálového senzoru s povrchovými plasmony k provádění způsobu podle nároku 1, *vyznačující se tím*, že má tvar destičky s rovnoběžnými nebo nerovnoběžnými protilehlými stěnami s alespoň jednou stěnou pokrytou kovovou vrstvou, přičemž kovová vrstva je v alespoň jedné oblasti pokryta alespoň jednou dielektrickou vrstvou.
7. Sensorový element vícekanálového senzoru s povrchovými plasmony k provádění způsobu podle nároku 1, *vyznačující se tím*, že sestává z integrovaně-optického vlnovodu, jehož povrch je pokryt alespoň v jednom úseku kovovou vrstvou, přičemž kovová vrstva je alespoň v jedné oblasti pokryta alespoň jednou dielektrickou vrstvou.
8. Sensorový element vícekanálového senzoru s povrchovými plasmony k provádění způsobu podle nároku 1, *vyznačující se tím*, že sestává z optického vlákna jehož povrch je pokryt alespoň v jednom úseku kovovou vrstvou, přičemž kovová vrstva je alespoň v jedné oblasti pokryta alespoň jednou dielektrickou vrstvou.

9. Senzorový element vícekanálového senzoru podle nároků 5 až 8, *vyznačující se tím*, že je opatřen v alespoň jedné oblasti sensorového elementu speciální vrstvou pro detekci chemických či biologických látek.

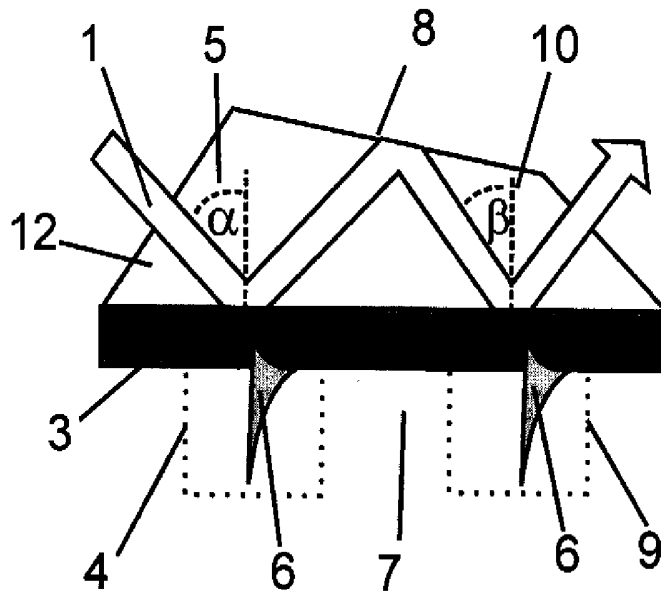
Obr. 1



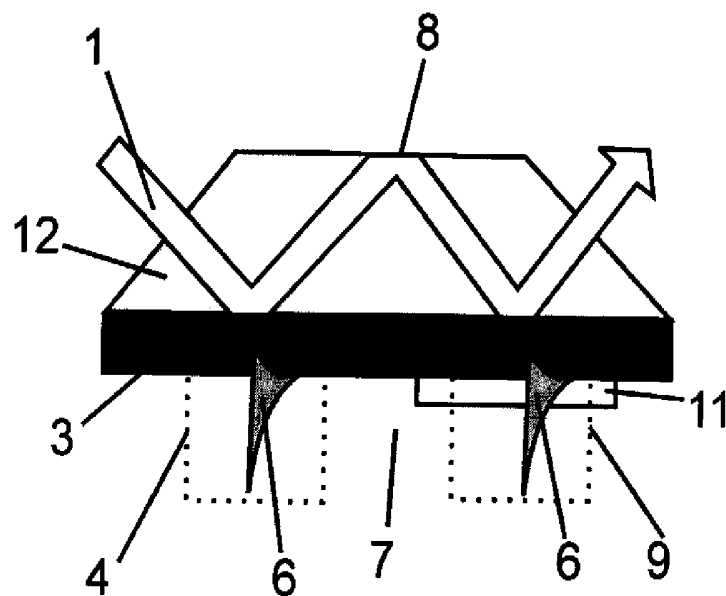
Obr. 2



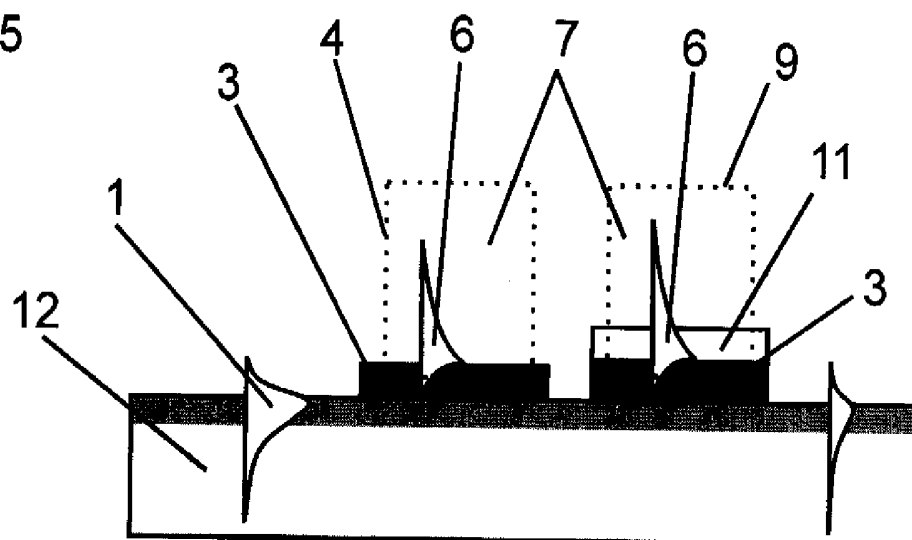
Obr. 3



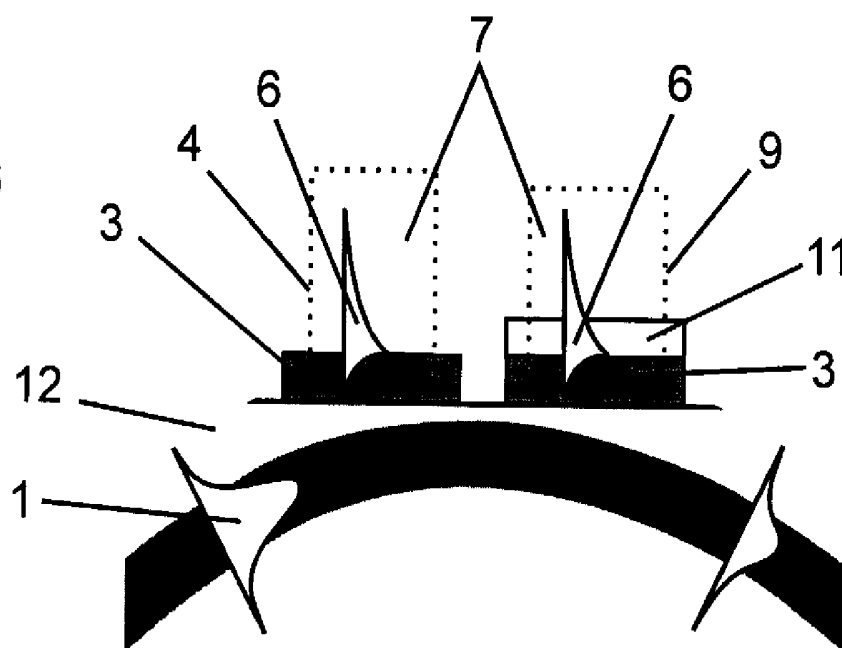
Obr. 4



Obr.5



Obr.6



Literatura

- [1] E. Kretschmann, H Raether, Radiative decay of non-radiative surface plasmons excited by light, Z. Naturforsch., 23A (1968) 2135 - 2136.
- [2] H. Raether, Surface plasmons on smooth and rough surfaces and on gratings, Springer - Verlag, Berlin, 1988.
- [3] B. Liedberg, C. Nylander and I. Lundström, Surface plasmons resonance for gas detection and biosensing, Sensors and Actuators, 4, (1983) 299 - 304.
- [4] K. Matsubara, S. Kawata, S. Minami, Optical chemical sensor based on surface plasmon measurement, Applied Optics, 27 (1988) 1160 - 1163.
- [5] L. M. Zhang, and D. Uttamchandani, Optical chemical sensing employing surface plasmon resonance , Electronics Letters, 23 (1988) 1469 - 1470.
- [6] P. S. Vukusic, G. P. Bryan-Brown, and J. R. Sambles, Surface plasmon resonance on grating as novel means for gas sensing, Sensors and Actuators B, 8 (1992) 155 - 160.
- [7] R. C. Jorgenson, and S. S. Yee, A Fiber-optic chemical sensor based on surface plasmon resonance, Sensors and Actuators B, 12 (1993) 213 - 220.
- [8] R. E. Dessy, W. J. Bender, Feasibility of a chemical microsensor based on surface plasmon resonance on fiber optics modified by multilayer vapor deposition, Analytical Chemistry, 66 (1994) 963 - 970.
- [9] J. Homola, Optical fiber sensor based on surface plasmon excitation, Sensors and Actuators B, 29 (1995) 401 - 405.
- [10] P. V. Lambeck, Integrated opto-chemical sensors, Sensors and Actuators B, 8 (1992) 103 - 116.
- [11] C. R. Lavers, and J. S. Wilkinson, A waveguide-coupled surface-plasmon sensor for an aqueous environment, Sensors and Actuators B, 22 (1994) 75 - 81.
- [12] M. M. B. Vidal, R Lopez, S. Aleggret, J. Alonso-Chamarro, I. Garces and J. Mateo, Determination of probable alcohol yield in musts by means of an spr optical sensor, Sensors and Actuators B, 11 (1993) 455 - 459.
- [13] S. G. Nelson, K. S. Johnston, and S. S Yee, High sensitivity surface plasmon resonance sensor based on phase detection, Sensors and Actuators B, 35-36 (1996) 187 - 191.
- [14] S. Löfås, M. Malmqvist, I. Rönnerberg, E. Stenberg, B. Liedberg, I. Lundström, Bioanalysis with surface plasmon resonance, Sensors and Actuators B, 5 (1991) 79 - 84.
- [15] G. G. Nenninger, J. B. Clendenning, C. E. Furlong, S. S. Yee, Reference-compensated biosensing using a dual-channel SPR sensor system based on planar lightpipe configuration, Sensors and Actuators B, 51 (1998) 38 - 45.

- [16] United States patent # 5,822,073, Optical lightpipe sensor based on surface plasmon resonance, issued on October 13, 1998.
- [17] J. Homola, S. Yee, Surface plasmon resonance sensor based on planar light pipe, theoretical optimization analysis, *Sensors and Actuators B*, 37 (1996) 145 – 150.
- [18] J. Homola, H. B. Lu, and S. S. Yee, Dual-channel surface plasmon resonance sensor with spectral discrimination of sensing channels using a dielectric overlayer, *Electronics Letters*, 35 (1999) 1105-1106.
- [19] C. E. H. Berger, T. A. M. Baumer, R. P. H. Kooyman, and J. Greve, Surface plasmon resonance multisensing, *Analytical Chemistry*, 70 (1998) 703 – 706.