

UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:

28 484

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:

G01J 5/58 (2006.01)

B82Y 15/00 (2011.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2015-31001**
(22) Přihlášeno: **23.04.2015**
(47) Zapsáno: **16.07.2015**

(73) Majitel:
Vysoké učení technické v Brně, Brno - Veverčí, CZ

(72) Původce:
Ing. Pavel Neuzil, Ph.D., Praha 4 - Krč, CZ
doc. Ing. Jaromír Hubálek, Ph.D., Brno - Štýřice,
CZ

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

(54) Název užitného vzoru:
**Membrána miniaturního bolometru se
zvýšenou absorpcí**

CZ 28484 U1

Membrána miniaturního bolometru se zvýšenou absorpcí

Oblast techniky

5 Miniaturní bolometry, neboli mikrobolometry, jsou systémy obvykle používané na detekci infračerveného záření v oblasti 8 až 12 μm , případně i delší. Jsou založeny na principu ohřevu tepelně izolované membrány a měření změny její teploty, která odpovídá množství absorbované energie. Předkládané řešení se týká vytvoření membrány tohoto miniaturního bolometru za využití nových materiálů.

Dosavadní stav techniky

10 Pole bolometrů je schopné detekce tepelné energie emitované člověkem na vzdálenost až půl kilometru i více. Je zřejmé, že bolometr musí být velmi citlivá součástka, protože množství tepla emitované člověkem je velmi malé. I toto malé množství je schopné ohřát membránu bolometru tak, aby se tato změna dala detekovat. Aby to bylo možné, membrána bolometru je tepelně izolovaná od substrátu a celá součástka je umístěná ve vakuu. Toto je známé řešení dle patentu US 6, 621, 083, Archanjo BS, Silveira GV, Goncalves AMB, et al., High-absorption wideband pixel for bolometer arrays. September 16, 2003. Membrána bolometru je zde vyrobena z tenké vrstvy SiO_2 s kovovou absorpční vrstvou a rezonanční mezerou pod membránou s odraznou vrstvou pod bolometrem. Teplotní sensor v membráně je z oxidu vanadia s malým odporem a elektrickými přívody umístěnými na opačných stranách bolometru. Rezonanční meze-
15 ra je v závislosti na snímaném spektru v rozsahu 0,8 až 2,5 μm . To ale ještě nestačí, membrána bolometru musí mít vysokou absorpci, tedy v ideálním případě veškeré IR záření, které na membránu dopadne, musí být absorbováno, a tak přispět ke zvýšení její teploty.

Je několik způsobů, jak zvýšit absorpci membrány bolometrů, a to antireflexní vrstvou která má impedanci vakua, vlastní materiál bolometrické membrány, rezonanční meze-
20 ra pod membránou a speciální absorpční vrstva. Všechny tyto způsoby mají své specifické problémy.

25 Antireflexní vrstva není příliš účinná, změna materiálu membrány také ovlivňuje vlastnosti tepelné izolace membrány, rezonanční meze-
ra o tloušťce 2,5 μm nebo menší je komplikovaná na výrobu a konečně speciální absorpční vrstva je obvykle tvořena černým zlatem, které se komplikovaně nanáší, jak je popsáno v publikaci P. L. Richards. Bolometers for infrared and millimeter waves. J. Appl. Phys. 76, 1 (1994) - Souhrnný článek o vývoji bolometrů a v publikaci Bin Wang, Jianjun Lai, Erjing Zhao, Haoming Hu, Qian Liu, & Sihai Chen Vanadium oxide micro-
30 bolometer with gold black absorbing layer. Optical Engineering, Volume 51, Issue 7, Optical Components, Detectors, and Displays. Tento článek popisuje chování bolometrů s absorpční vrstvou ze speciálně připraveného zlata nanášeného za nízkého vakua, takže se vrstva zlata chová podobně, jako absolutně černé těleso.

35 V publikaci M. Tarasov, J. Svensson, L. Kuzmin, and E. E. B. Campbell, Carbon nanotube bolometers. Applied Physics Letters 90, 163503 (2007). Je popisováno využití jednostěnných uhlíkových nanotubic, dále jen CNT, pro absorpci IR záření jako kryogenní bolometr, tzn. s kryogenním chlazením pro použití pro detekci mikrovlnného záření v oblasti 10 až 2000 μm . Tyto nanotrubice byly na bolometru umístěny horizontálně a nepracovaly jako absolutně černé těleso.
40 Způsob přípravy CNT je z roztoku, což je nekompatibilní technologie s mikrotechnologiemi, které se využívají při výrobě matice mikrobolometrů na jednom čipu. Jedná se o ležící dispergované CNT, které zde navíc přebírají funkci rezistivního bolometru, takže se jedná o bolometr a absorpční materiál v jednom. Absorpce vrstvy zde není zkoumána. Nevýhodou tohoto přístupu je využití jednostěnných uhlíkových nanotubic, což je technologicky náročnější a nelze je
45 připravit přímo na membráně bolometru. Navíc řešení obsahuje technicky i rozměrově náročného kryogenní chlazení.

Publikované řešení dle Ali E. Aliev, Bolometric detector on the basis of single-wall carbon nanotube/polymer composite. Infrared Physics & Technology 51 (2008) 541-545 popisuje bolometr, který byl integrován se svazkem tenkých uhlíkových nanotubek, které byly chemicky modifikovány pro zvýšení účinnosti absorpce infračerveného záření. Tyto nanotrubice však byly na
50

bolometru umístěny horizontálně a nepracovaly jako absolutně černé těleso. Řešení se zabývá opět využitím jednotlivých CNT za pomoci spin-coatingu, což je obdoba předchozího řešení.

5 Celková tloušťka bolometru je 17 μm . U takto připravených CNT je měřena absorpce, která je sice v oblasti viditelného spektra prakticky 1, ale směrem k vlnovým délkám infračerveného spektra se výrazně zhoršuje. Bolometr je poměrně velký a tímto způsobem připravený bude obtížné ho miniaturizovat. V obou případech nejde o technologie kompatibilní s mikrotechnologiemi a nelze je využít pro matici mikrobolometrů a neobsahují rezonanční mezeru.

10 Z výše uvedeného vyplývá, že doposud byly hledány anorganické materiály s vysokou absorpční účinností jako je černé zlato, černá platina, tlustá vrstva Si_3N_4 a multivrstvy. Objevují se publikace využívající uhlíkové nanotrubic, ale jde o zcela jinou metodu vytváření absorpční vrstvy, která má také jiné vlastnosti. Tyto metody buď nejsou technologicky kompatibilní s výrobou bolometrů, nebo nežádoucím způsobem ovlivňují parametry bolometru, jako je teplotní časová konstanta.

Podstata technického řešení

15 Výše uvedené nevýhody odstraňuje membrána miniaturního bolometru se zvýšenou absorpcí, opatřená senzorem teploty membrány, podle předkládaného řešení. Podstatou nového řešení je, že na membráně je vytvořena z těsně vedle sebe vertikálně umístěných uhlíkových nanotubic absorpční vrstva o tloušťce v rozmezí 1 μm až 25 μm . Tyto nanotrubic mohou být jednotlivé nebo multistěnné.

20 Protože se růst nanotubic provádí na mikrobolometrech, které jsou tepelně izolované, jejich ohřevem se automaticky nebude ohřívat substrát, respektive se bude ohřívat jen marginálně.

Hlavní výhodou oproti obvyklým způsobům je, že se zde využívají vertikálně uspořádané uhlíkové nanotrubic, které dohromady tvoří absolutně černé těleso. Ve srovnání se známými technikami pro zvyšování absorpce záření uvedené řešení zajišťuje necitlivost vytvořeného miniaturního bolometru na vlnové délce absorbovaného záření.

Objasnění výkresů

Na Obr. 1A je uvedena konstrukce membrány v řezu a na Obr. 1B v pohledu shora. Způsob přípravy uhlíkových nanotubic pak znázorňují Obr. 2A a Obr. 2B. Na Obr. 3A a 3B jsou uvedena absorpční spektra vrstvy vertikálně uspořádaných uhlíkových nanotubic změřené pomocí Fourierovy transformace v infračervené oblasti (FTIR) a v oblasti terahertzových vln.

Příklady uskutečnění technického řešení

Nové řešení spočívá ve vytvoření funkční vrstvy membrány využívající vertikálně uspořádaných jednotlivých nebo multistěnných uhlíkových nanotubic 7, dále jen VACNT, jako absorpční materiál a ve způsobu jejich přípravy přímo na membráně. Hlavní rozdíl mezi obvyklými způsoby a předmětem tohoto řešení je v tom, že zde se využívají vertikálně uspořádané trubice, které dohromady tvoří absolutně černé těleso. Jiný způsob nanášení uhlíkových nanotubic 7 nedosahuje tak vysoké absorpce s necitlivostí k vlnové délce. Tato technologie nejsou kompatibilní s technologií výroby membrány z SiO_2 .

40 Uhlíkové nanotrubic 7 jsou známé svými unikátními vlastnostmi. Při pohledu na temně černou vrstvu vertikálně zarovnaných uhlíkových nanotubic 7 je jasné, že tato vrstva má určité výborné absorpční vlastnosti, minimálně ve viditelné oblasti spektra. Po změření jejich vlastností pomocí FTIR spektroskopie bylo zjištěno, že ve spektrální oblasti od 7 do 25 μm tato vrstva absorbuje záření s účinností blízkou 100 %, Obr. 3A. Tyto materiály mají velmi dobré absorpční vlastnosti i v oblasti THz, Obr. 3B. Ta je zajímavá tím, že zde stejně jako v infračervené IR oblasti existuje jen velmi málo způsobů detekce tohoto záření.

Konstrukce membrány 3 podle předkládaného řešení je uvedena v řezu na Obr. 1A a v pohledu shora na Obr. 1B. Je zde znázorněn křemíkový substrát 1 s jámou 2, nad kterou je zavěšena membrána 3 na dvou závěsech, menší než 100 x 100 μm^2 tvořená první vrstvou 4 oxidu křemičitého

tého SiO₂ vyrobenou odleptáním křemíku pod membránou 3, přičemž zde není uplatněna rezonanční mezera. Na membráně 3 je vytvořen meandr 5 z titanové vrstvy, který slouží jako senzor teploty. Tento meandr 5 je překryt druhou vrstvou 6 oxidu křemičitého SiO₂, na které je vytvořena vrstva uhlíkových nanotrubic 7. Systém je hermeticky uzavřen v pouzdru a vyvakuován.

- 5 Na Obr. 2A a 2B je znázorněn způsob uspořádání membrány 3 s meandrem 5 bolometru spolu s vertikálními uhlíkovými nanotrubicemi 7 na membráně 3 miniaturního bolometru. Vrstva VACNT se vyrobí pomocí techniky depozice z plynné fáze. Na membráně 3 se vytvoří z některého z materiálů ze skupiny kobalt, železo, nikl vrstvička nanokrystalů katalytického materiálu o tloušťce 1 až 20 nm. V uvedeném příkladu byly tyto nanokrystalové vrstvy vytvořeny na druhé vrstvě 6 oxidu křemičitého SiO₂. Poté se čip 8 s membránou 3 uzavře do komory 9 opatřené víkem 10 vstupem 11 plynu a výstupem 12 plynu a komora 9 se naplní inertním plynem, například dusíkem. Následně se membrána 3 zahřeje na teplotu mezi 700 °C a 1100 °C podle typu katalyzátoru použitého uhlovodíku. K inertnímu plynu se přidá C₂H₂, CH₄, nebo etylen diamin. Na membráně 3 začnou růst vertikálně uspořádané uhlíkové nanotrubic 7 a v okamžiku, kdy se dosáhne tloušťky vrstvy tvořící nanotrubic 7 mezi 1 μm a 25 μm, se vypne přívod C₂H₂, CH₄, nebo etylen diaminu, čímž se uhlovodík vytěsňuje inertním plynem a vypne se zdroj 13 tepla ohřívající tepelně izolovanou membránu 3.

V uvedeném příkladu došlo k rozkladu uhlovodíku a růstu uhlíkových nanotrubic 7 v oblastech, kde se nacházel katalyzátor, například kobalt, za teploty 900 °C.

- 20 Depozice nanotrubic 7 pomocí uvedené techniky rozkladem uhlovodíků při teplotě 900 °C není kompatibilní s technologií výroby bolometrů. Pro tento účel byl vyvinut způsob. Obr. 2A a 2B, selektivní depozice, přičemž je lokálně ohřátá membrána 3 bolometru na požadovanou teplotu a tím je zajištěn růst CNTs pouze na membráně 3. Při výrobě takto realizované membrány 3 bolometru jsou dva možné způsoby zahřátí membrány 3. Jedním je ohřev pomocí paprsku laseru nebo zdroje záření, jako je například infračervené záření, o absorbovaném výkonu minimálně 25 100 μW. Druhým způsobem je použití zdroje impulzů elektrického proudu a napětí o výkonu minimálně 100 μW, kde tyto impulzy jsou přiváděny na Ti meandr 5 v bolometru.

- V obou případech je možné nechat narůst vrstvu uhlíkových nanotrubic 7 na hotových bolometrech dokonce po jejich zapouzdření, aniž by došlo k jejich poškození. Pokud poroste vrstva uhlíkových nanotrubic 7 za sníženého tlaku použitého plynu, teplotní ztráty z membrány 3 bolometru jsou dané především tepelnou vodivostí respektive odporem přívodů bolometru. Bolometr, který byl podle uvedeného příkladu realizován, má tepelný odpor 2×10^{-7} W/K, takže k jeho ohřevu na teplotu 900 °C stačí 175 μW. To je velmi malé množství energie, které zabraňuje ohřát vlastní součástku a tím ji poškodit.

- 35 Lze tedy konstatovat, že se jedná o nový způsob vytváření membrány 3 bolometru za účelem zvýšení efektivity absorpce infračerveného záření a tím zvýšení citlivosti a odezvy na dopadající infračervené záření. Toho je dosaženo absorpční vrstvou jednostěnných nebo multistěnných uhlíkových nanotrubic 7 vytvořenou přímým růstem ve vertikálním uspořádání a způsobem jejího vytvoření na hotovém mikrobolometru s mikromechanickými membránami.

- 40 Dochází zde tedy ke zvýšení účinnosti absorpce bolometrické membrány 3, aniž by došlo k nežádoucímu zhoršení parametrů bolometru. Tímto způsobem vznikne bolometr s vysokou absorpční účinností. Pokud se takový bolometr použije pro infračervenou kameru, bude mít vysokou citlivost. Také na druhou stranu bude možné při nominální citlivosti zmenšit velikost membrány 3 bolometru a tím zmenšit velikost celého čipu. V takovém případě bude možné připravit na křemíkové desce nominální velikosti více čipů a tím snížit jejich jednotkovou cenu.

Hlavní rozdíl mezi obvyklými způsoby a předmětem tohoto řešení je v tom, že zde se využívají vertikálně uspořádané trubice, které dohromady tvoří absolutně černé těleso. Tudíž ve srovnání se známými technikami zvyšování absorpce záření, pomocí předkládaného řešení lze docílit necitlivosti na vlnové délce absorbovaného záření.

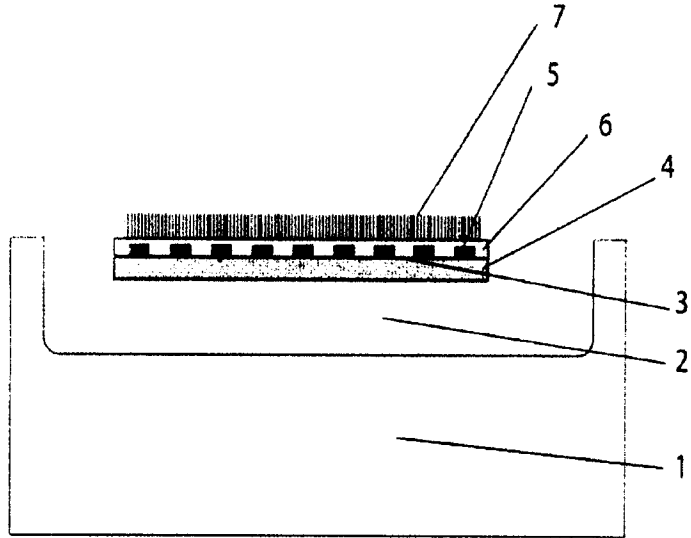
Průmyslová využitelnost

5 Membrána miniaturního bolometru podle uvedeného řešení je využitelná například pro termovizi, bezdotykové měření teploty, měření tepelně zatížených míst jako jsou izolátory na rozvodech vysokého napětí, přetížené části výkonových rozvodů, 3f rozvodné transformátory, tepelné úniky, tepelné můstky, snímání tepelného obrazu přes clonící materiály a podobně.

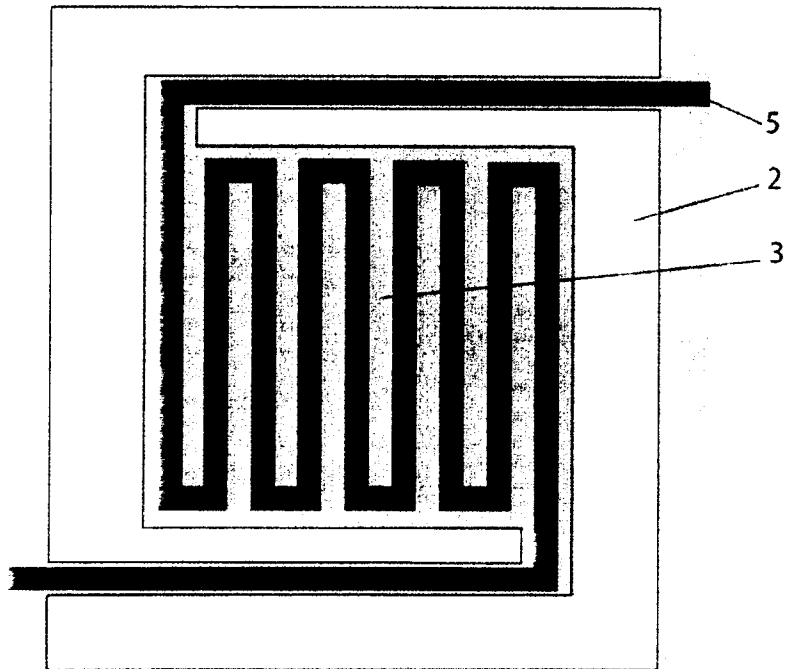
NÁROKY NA OCHRANU

- 10 1. Membrána miniaturního bolometru se zvýšenou absorpcí, opatřená senzorem teploty membrány, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že na membráně (3) je vytvořena absorpční vrstva z těsně vedle sebe vertikálně umístěných uhlíkových nanotrubic (7) o výšce vrstvy v rozmezí 1 μm až 25 μm .
2. Membrána podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že nanotrubice (7) jsou multi-stěnné.
3. Membrána podle nároku 1, **v y z n a ě u j í c í s e t í m**, že nanotrubice (7) jsou jed-nostěnné.

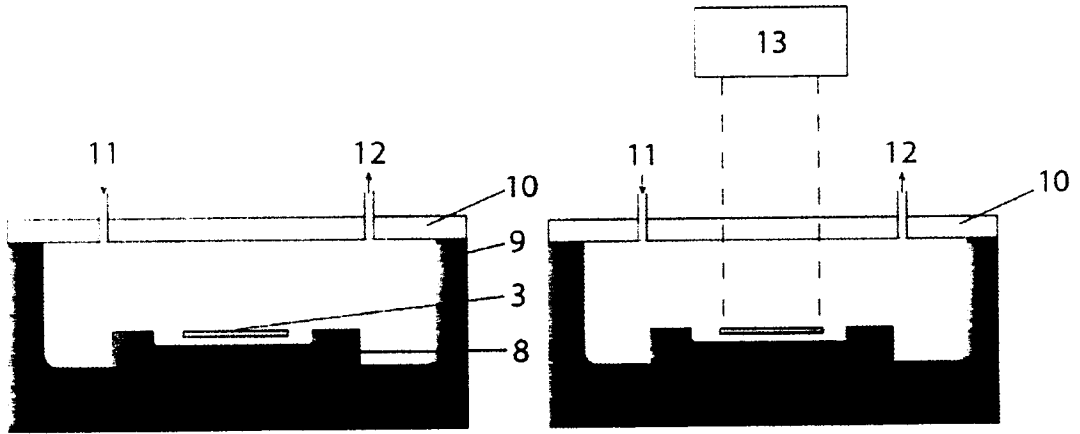
3 výkresy



OBR. 1A

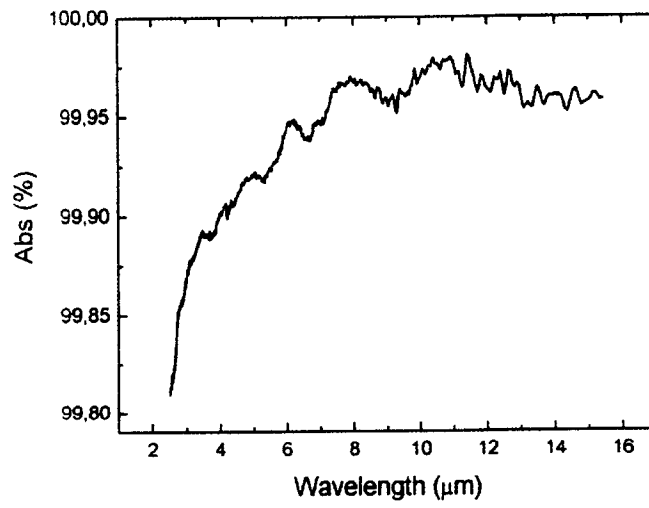


OBR. 1B

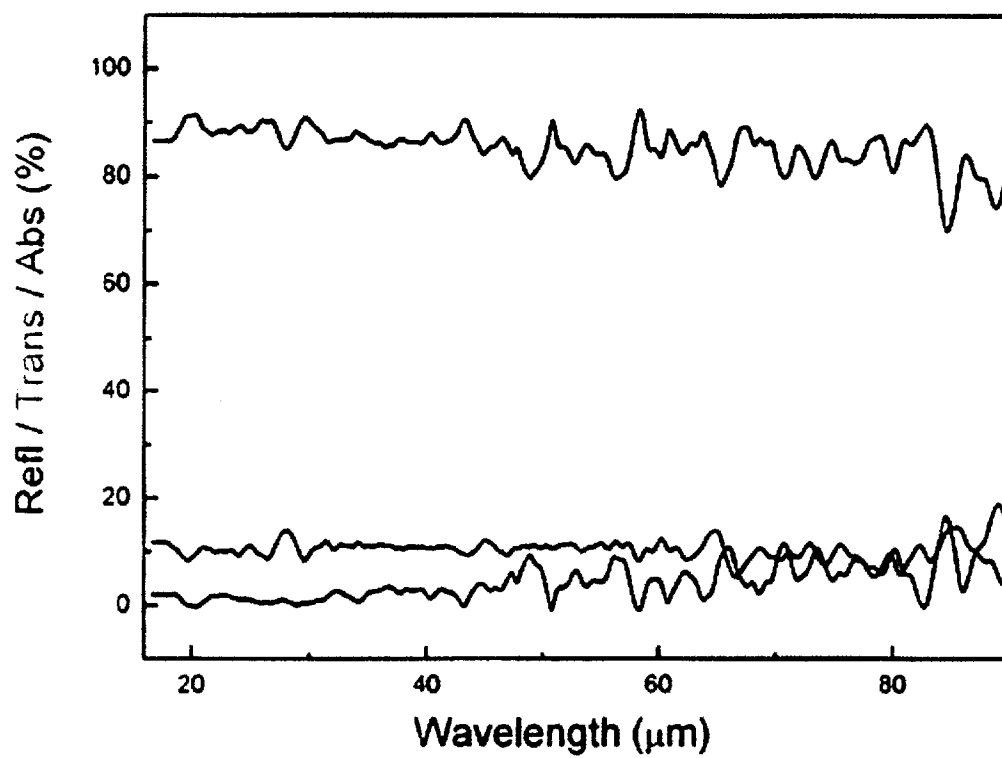


OBR. 2A

OBR. 2B



OBR. 3A



OBR. 3B

Konec dokumentu
