UŽITNÝ VZOR

(11) Číslo dokumentu:
37 958

(13) Druh dokumentu: **U1**

(51) Int. Cl.:
H10N 52/80 (2023.01)

(19) ČESKÁ REPUBLIKA

ÚŘAD PRŮMYSLOVÉHO VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2024-41931**
(22) Přihlášeno: **29.04.2024**
(47) Zapsáno: **25.06.2024**

(73) Majitel:
Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v. v. i., Praha 8, Libeň, CZ
ELCERAM a.s., Hradec Králové, CZ
Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň, Jižní Předměstí, CZ
PLASMA-TECHNOLOGIC s.r.o., Blatnice pod Svatým Antonínkem, CZ

(72) Původce:
Ing. Ivan Ďuran, Ph.D., Drahelčice, CZ
doc. Ing. Slavomír Entler, Ph.D., Chrášťany, CZ
Mgr. Marek Šimonovský, Hradec Králové, Třebeš, CZ
Ing. Jan Johan, Roudnice, CZ
Ing. Lukáš Štěpán, Černožice, CZ
doc. Ing. Jan Řeboun, Ph.D., Rokycany, Plzeňské Předměstí, CZ
Ing. Pavel Turjanica, Ph.D., Plánice, CZ
Ing. Ladislav Kusenda, Piešťany, SK

(74) Zástupce:
artpatent, advokátní kancelář s.r.o., Dukelských hrdinů 976/12, 170 00 Praha 7, Holešovice

(54) Název užitného vzoru:
Hallův senzor

CZ 37958 U1

Úřad průmyslového vlastnictví v zápisném řízení nezjišťuje, zda předmět užitného vzoru splňuje podmínky způsobilosti k ochraně podle § 1 zák. č. 478/1992 Sb.

Hallův senzor

Oblast techniky

Technické řešení se týká oblasti elektronických součástek, konkrétně Hallova senzoru.

Dosavadní stav techniky

Komerční Hallovy senzory používají polovodičovou citlivou vrstvu. Polovodiče nabízejí vysokou citlivost na magnetické pole a provozní podmínky polovodičů vyhovují většině aplikací. Tyto polovodičové Hallovy senzory ale nelze použít, pokud aplikace vyžaduje aplikaci senzorů při vysokých teplotách. Polovodiče jsou charakteristické silnou závislostí svých parametrů na teplotě. Použití stávajících polovodičových Hallových senzorů je proto obvykle omezeno na pracovní teploty do 85 až 150 °C. Maximální provozní teplota speciálních polovodičových Hallových senzorů byla dohledána na úrovni 300 °C.

Stávající polovodičové senzory nemohou být použity ani v prostředí se silným ionizujícím zářením. Ionizující záření narušuje strukturu polovodičové vrstvy senzorů a způsobuje degradaci funkce senzorů. Jsou známy radiačně odolné senzory na bázi tzv. heterogenních polovodičů, u kterých se degradace jednoho polovodiče kompenzuje degradací druhého polovodiče. Toto řešení však poskytuje pouze krátkodobou radiační odolnost.

Hlavní nevýhoda konstrukčního uspořádání polovodičových Hallových senzorů je spatřována v tom, že Hallovy senzory nejsou schopné činnosti nad 300 °C a nejsou dlouhodobě odolné vůči radiaci.

Odolnost proti radiaci nabízí Hallovy senzory s citlivou vrstvou z chemického prvku bizmutu. Díky nízké teplotě tavení bizmutu ale tyto senzory mohou pracovat při teplotách pouze do 200 °C.

Vyšší provozní teploty nabízí Hallovy senzory s citlivou vrstvou z chemického prvku zlata, které ale mají nízkou radiační odolnost a jsou typické velmi slabým výstupním signálem.

Perspektivními se jeví Hallovy senzory s citlivou vrstvou z grafenu. Grafenové senzory ale dosud nebyly dostatečně testovány a nelze posoudit jejich teplotní a radiační odolnost.

Vysokou teplotní a radiační odolnost nabízí Hallovy senzory s citlivou vrstvou z chrómu podle patentové listiny CZ 309143 B6. Nevýhodou chromových Hallových senzorů je velmi slabý výstupní signál, který znesnadňuje použití senzorů v průmyslových aplikacích.

Uvedené nevýhody částečně řeší Hallovy senzory s citlivou vrstvou z chemického prvku antimonu podle patentové listiny CZ 308527 B6. Tyto senzory mohou pracovat až do teploty 500 °C a jejich výstupní signál je mnohonásobně silnější než výstupní signál chromových senzorů. Senzory úspěšně prošly také testy radiační odolnosti.

Dlouhodobé teplotní testování ale odhalilo, že senzory podle patentové listiny CZ 308527 B6 nejsou stabilní a časem ztrácejí svoji citlivost. Degradace senzorů je způsobena difúzí mědi z elektrických kontaktních bodů do antimonové citlivé vrstvy. Měď postupně proniká do antimonu a společně s antimonem vytváří intermetalické slitiny. Tento proces má za důsledek postupné snižování citlivosti senzoru. Měřením bylo zjištěno, že proces probíhá i při nízkých teplotách a jeho rychlost roste s růstem teploty.

Hlavní nevýhoda Hallových senzorů s citlivou vrstvou z chemického prvku antimonu podle patentové listiny CZ 308527 B6 je spatřována v jejich dlouhodobé nestabilitě a postupné degradaci senzorů, způsobené difúzí mědi do antimonu.

Pro zabránění difúze mědi do okolních vrstev se v polovodičových čipech používá difúzní bariéra ze slitiny wolframu a titanu. Slitina wolframu a titanu se aplikuje v sendvičové struktuře, kde tvoří jednu z vrstev struktury sendviče a brání difúzi plošně, tj. přes plochu bariérové vrstvy, jak je popsáno např. v U.S. Pat. No. 10910561B1 nebo U.S. Pat. No. 5041191. Avšak nebyl dohledán žádný dokument, popisující použití slitiny wolframu a titanu v sendvičové struktuře pro oddělení vrstvy z chemického prvku antimonu nebo jeho slitiny s obsahem antimonu vyšším než 90 % od měděné vrstvy.

V případě Hallových senzorů podle patentové listiny CZ 308527 B6 bylo experimentálně zjištěno, že hrubost povrchu elektrických kontaktních bodů senzoru vyrobených metodou silnovrstvého tisku mědi zabraňuje homogennímu pokrytí elektrického kontaktního bodu wolfram-titanovou vrstvou. V místech s nedostatečně tlustou wolfram-titanovou vrstvou v sendvičovém uspořádání difúze probíhala dál.

Hlavní nevýhoda sendvičového uspořádání je spatřována v tom, že vyžaduje hladký povrch oddělovaných vrstev a v případě Hallových senzorů podle patentové listiny CZ 308527 B6 sendvičová aplikace wolfram-titanové vrstvy difúzi neodstraňuje.

Konstrukční řešení Hallových senzorů s citlivou vrstvou z chemického prvku antimonu nebo jeho slitiny s obsahem antimonu vyšším než 90 %, které zabrání degradaci citlivé vrstvy způsobené difúzí mědi do antimonu, nebylo doposud nikde popsáno.

Úkolem technického řešení je proto vytvoření takového Hallova senzoru, který by odstraňoval výše uvedené nedostatky, a který by byl dlouhodobě použitelný bez degradace a ztráty svých funkčních vlastností.

Podstata technického řešení

Vytčený úkol je vyřešen pomocí Hallova senzoru podle tohoto technického řešení. Hallův senzor zahrnuje podkladový substrát, elektrické kontaktní body z elektricky vodivého materiálu uspořádané na podkladovém substrátu alespoň ve dvou protilehlých dvojicích v křížovitém uspořádání a citlivou vrstvu o tloušťce 1 nanometru až 1 milimetru, vytvořenou z chemického prvku antimonu nebo jeho slitiny, a uspořádanou na podkladovém substrátu. Obsah antimonu v citlivé vrstvě je vyšší než 90 %.

Podstata tohoto technického řešení spočívá v tom, že Hallův senzor dále zahrnuje alespoň čtyři difúzně bariérové mosty z wolframu nebo ze slitiny wolframu a titanu s obsahem wolframu nejméně 60 % uspořádané na podkladovém substrátu mezi citlivou vrstvou a elektrickými kontaktními body tak, že přiléhají k vnějšímu okraji citlivé vrstvy a zároveň k vnitřnímu okraji každého elektrického kontaktního bodu. Vnější okraj citlivé vrstvy je okraj ležící v radiálním směru dále od středu Hallova senzoru a vnitřní okraj elektrického kontaktního bodu je okraj ležící v radiálním směru blíže od středu Hallova senzoru. Pod pojmem „difúzně bariérový most“ rozumíme spoj citlivé vrstvy a elektrických kontaktních bodů, který je zpravidla vytvořen jako difúzně bariérová vrstva z wolframu nebo ze slitiny wolframu a titanu nebo může být v jiném případě tvořen drátky nebo jinými spoji z wolframu nebo ze slitiny wolframu a titanu propojujícími okraje citlivé vrstvy a elektrické kontaktní body. Na rozdíl od známé sendvičové bariéry nemusí být difúzně bariérový most proveden jako vrstva a může být proveden jako libovolný elektrický vodič provedený z wolframu nebo ze slitiny wolframu a titanu s obsahem wolframu nejméně 60 %.

Aplikace difúzně bariérového mostu, který lze nazvat „laterálním mostem“, z wolframu nebo ze slitiny wolframu a titanu je kvalitativní inovací struktury antimonových Hallových senzorů s citlivou vrstvou z chemického prvku antimonu podle dokumentu CZ 308527 B6 odstraňující samovolnou degradaci senzorů difúzí mědi z elektrických kontaktní bodů do antimonové citlivé vrstvy senzoru. Bez této inovace Hallovy senzory s časem degradují a ztrácejí své funkční vlastnosti.

Pro difúzně bariérový most podle tohoto technického řešení byl zvolen wolfram. Pro provedení difúzně bariérového mostu byl hledán elektricky vodivý kov, ve kterém nedochází k rozpouštění antimonu a mědi, a který netvoří s antimonem nebo mědí intermetalické slitiny, a to i při vysokých provozních teplotách senzoru. Této podmínce vyhovuje právě čistý wolfram. Nevýhodou čistého wolframu se ukázala nedostatečná adheze k leštěnému podkladovému substrátu vyrobenému z oxidu hlinitého Al_2O_3. Hrubší povrch podkladového substrátu by díky hrubosti neumožnil vytvořit tenkou citlivou vrstvu z antimonu o tloušťce desítek a stovek nanometrů. Uvedená nevýhoda nízké adheze čistého wolframu byla odstraněna přidáním titanu do wolframu. Titan zajistil potřebnou adhezi difúzně bariérového mostu k podkladovému substrátu.

Hlavním rozdílem difúzně bariérového mostu podle tohoto technického řešení oproti sendvičové bariéře známé ze stavu techniky je jeho kvalitativně odlišná geometrická architektura. Známá sendvičová bariéra brání difúzi v kolmém směru k vrstvě a její difúzní odpor závisí na plošné homogenitě vrstvy, přičemž je určen místem vrstvy s nejnižším difúzním odporem, kde je vrstva nejtenčí nebo znečištěná. Oproti tomu difúzně bariérový most podle tohoto technického řešení brání difúzi v podélném směru difúzně bariérového mostu. Difúzní odpor difúzně bariérového mostu proto nezávisí na homogenitě vrstvy a je určen celkovým difúzním odporem mostu. Difúzní bariérový most může být použit i na hrubém podkladovém substrátu a jeho difúzní odpor je mnohonásobně vyšší než odpor sendvičové bariéry v poměru délky difúzně bariérového mostu a tloušťky sendvičové bariéry.

Druhým rozdílem difúzně bariérového mostu podle tohoto technického řešení oproti známé sendvičové bariéře je mnohonásobně menší výška přechodu citlivé vrstvy na vodivý materiál elektrického kontaktního bodu. Elektrický kontaktní bod je 100krát vyšší než citlivá vrstva, zatímco difúzně bariérový most je jen 10krát vyšší než citlivá vrstva. Ve výhodném provedení může mít elektrický kontaktní bod tloušťku 15 mikrometrů, difúzně bariérový most může mít tloušťku 500 nanometrů a citlivá vrstva má tloušťku 160 nanometrů, elektrický kontaktní bod je tak přibližně 100krát vyšší než citlivá vrstva. Velký výškový rozdíl přechodu citlivé vrstvy na elektrický kontaktní bod vytváří riziko přerušení tenké citlivé vrstvy na hraně elektrického kontaktního bodu. Známá sendvičová bariéra přechod dále zvyšuje o výšku sendvičové bariéry, a tím zvyšuje riziko přerušení citlivé vrstvy v místě přechodu. Oproti tomu difúzně bariérový most podle tohoto technického řešení naopak výškový rozdíl výrazně snižuje, protože se citlivá vrstva napojuje na vodivý materiál difúzně bariérového mostu, který je vysoký pouze 0,5 mikrometru, a přechod je tak přibližně 30krát nižší. Difúzně bariérový most snižuje riziko přerušení citlivé vrstvy v přechodu na vodivý materiál, na rozdíl od známé sendvičové bariéry, která jej zvyšuje.

Třetím rozdílem difúzně bariérového mostu podle tohoto technického řešení oproti známé sendvičové bariéře je její umístění. Vnější okraj difúzně bariérového mostu tvoří ve výhodném uspořádání schodovitý lem přesahující přes vnitřní okraj elektrického kontaktního bodu až na jeho horní povrch. V jiném výhodném uspořádání vnitřní okraj elektrického kontaktního bodu tvoří schodovitý lem přesahující přes vnější okraj difúzně bariérového mostu až na jeho horní povrch. V jiném dalším výhodném provedení vnitřní okraj difúzně bariérového mostu tvoří schodovitý lem přesahující přes vnější okraj citlivé vrstvy až na její horní povrch, nebo vnější okraj citlivé vrstvy tvoří ve výhodném uspořádání schodovitý lem přesahující přes vnitřní okraj difúzně bariérového mostu až na jeho horní povrch. Podlouhlé difúzně bariérové mosty jsou umístěny na krajích propojovaných vrstev, tedy na krajích citlivé vrstvy a elektrických kontaktních bodů. Známá sendvičová bariéra je naopak umístěna plošně mezi propojovanými vrstvami, tedy mezi citlivou vrstvou a elektrickými kontaktními body. Difúzně bariérový most má s citlivou vrstvou malý,

elektricky nezbytný kontakt. Známá sendvičová bariéra je naopak v maximálním plošném kontaktu s citlivou vrstvou. Omezením kontaktu difúzně bariérového mostu s citlivou vrstvou oproti známé sendvičové bariéře je sníženo riziko nežádoucích fyzikálních a chemických reakcí a je tak přispěno k dlouhodobé stabilitě Hallových senzorů.

Hallův senzor s výhodou dále zahrnuje elektricky vodivé plošné spoje uspořádané na podkladovém substrátu a napojené na elektrické kontaktní body. Plošné spoje jsou ve výhodném provedení zakončeny elektrickými kontaktními plochami. Elektricky vodivé plošné spoje slouží pro propojení elektrických kontaktních bodů a elektrických kontaktních ploch. Elektricky vodivé plošné spoje mohou mít formu drátků nebo plošných vodičů. Mohou být vyrobeny z libovolného vodivého materiálu, obvykle se vyrábějí z mědi nebo hliníku.

Na elektrické kontaktní plochy jsou ve výhodném uspořádání zapojeny elektricky vodivé přívody. Elektrické kontaktní plochy slouží pro připojení elektrických přívodů. Jejich tvar a rozměry jsou libovolné. Mohou být vyrobeny z libovolného vodivého materiálu, obvykle se vyrábějí z mědi nebo platiny. Podkladový substrát slouží jako podklad pro citlivou vrstvu a může být vyroben z různých materiálů a o různých rozměrech. Materiál podkladového substrátu musí být elektrický izolant i při vysokých teplotách, aby nedošlo k elektrickým svodům z citlivé vrstvy, a musí být teplotně a radiačně odolný. Vhodné jsou keramické materiály jako je oxid hliníku Al_2O_3, oxid křemíku SiO_2, nitrid křemíku Si_3N_4, nebo spinel $MgAl_2O_4$.

Výhody Hallova senzoru podle tohoto technického řešení spočívají v tom, že odstraňuje degradaci Hallových senzorů s citlivou vrstvou vyrobenou z antimonu způsobenou difúzí mědi z elektrických kontaktních bodů do citlivé vrstvy. Další výhoda je spatřována ve zmenšení výšky přechodu citlivé vrstvy na vodivý materiál, protože výška difúzně bariérového mostu je mnohem menší než výška elektrického kontaktního bodu. Tím se snižuje riziko přerušení citlivé vrstvy v přechodu na vodivý materiál.

Objasnění výkresů

Uvedené technické řešení bude blíže objasněno na následujících vyobrazeních, kde:

obr. 1 znázorňuje citlivou vrstvu Hallova senzoru známého z dokumentu CZ 308527 B6,

obr. 2 znázorňuje citlivou vrstvu z antimonu a elektrické kontaktní body vyrobené z platiny,

obr. 3 zobrazuje citlivou vrstvu z antimonu a elektrické kontaktní body vyrobené z mědi oddělené známou sendvičovou bariérou,

obr. 4 znázorňuje pohled na příklad Hallova senzoru podle tohoto technického řešení s citlivou vrstvou ve tvaru kříže a difúzně bariérové mosty,

obr. 5 znázorňuje citlivou vrstvu, difúzně bariérové mosty a elektrické kontaktní body v detailním pohledu,

obr. 6 znázorňuje příklad a) známé sendvičové bariéry a b) difúzně bariérového mostu,

obr. 7 znázorňuje řez napojení citlivé vrstvy Hallova senzoru na elektrický kontaktní bod pomocí a) známé sendvičové bariéry a b) difúzně bariérového mostu,

obr. 8 znázorňuje příklady geometrie citlivé vrstvy s rozmístěním difúzně bariérových mostů a elektrických kontaktních bodů,

obr. 9 znázorňuje graf závislosti Hallova napětí Hallova senzoru s difúzně bariérovými mosty na vnějším magnetickém poli působícím kolmo k rovině citlivé vrstvy při různých teplotách Hallova senzoru,

obr. 10 znázorňuje graf závislosti citlivosti Hallova senzoru s difúzně bariérovými mosty na teplotě Hallova senzoru,

obr. 11 znázorňuje graf závislosti elektrického odporu Hallova senzoru s difúzně bariérovými mosty na teplotě senzoru.

Příklad uskutečnění technického řešení

Na obr. 1 je znázorněn Hallův senzor známý ze stavu techniky z dokumentu CZ 308527 B6, ze kterého je patrná citlivá vrstva 1, do které difundovala měď z elektrických kontaktních bodů 3. Difúze mědi výrazně snížila citlivost Hallova senzoru. Vzniklé intermetalické slitiny antimonu a mědi se projevily tmavým zbarvením.

Na obr. 2 a obr. 3 jsou znázorněny Hallovy senzory v provedení neúspěšných a nefungujících, respektive nedostatečných pokusů. Obr. 2 zobrazuje citlivou vrstvu 1 z antimonu a elektrické kontaktní body 3 vyrobené z platiny. Nahrazení měděných elektrických kontaktních bodů 3 platinovými kontaktními body 3 neodstranilo difúzi. Platina podobně jako měď difundovala do antimonu a způsobovala postupnou degradaci Hallova senzoru. Obr. 3 zobrazuje citlivou vrstvu 1 z antimonu a elektrické kontaktní body 3 vyrobené z mědi oddělené známou sendvičovou bariérou. Jak je zobrazeno z obr. 3, známé provedení sendvičové bariéry nezabránily difúzi mědi do antimonu a ukázaly se jako neúčinné.

Proto byl vyvinut Hallův senzor podle tohoto technického řešení, jehož prototyp s citlivou vrstvou 1 ve tvaru kříže a s difúzně bariérovými mosty 2 podle tohoto technického řešení je zobrazen na obr. 4. Rozměry Hallova senzoru podle tohoto příkladu jsou 6,4 mm x 12,4 mm x 0,8 mm. Hallův senzor má citlivou vrstvou 1 z chemického prvku antimonu, která má plošné rozměry 1,9 mm x 1,9 mm a tloušťku 160 nm. Dále má difúzně bariérové mosty 2, které jsou detailně zobrazeny na obr. 5, mají délku 0,2 mm, jsou vyrobeny ze slitiny wolframu a titanu s obsahem wolframu 90 % a titanu 10 % a mají tloušťku 500 nm. Elektrické kontaktní body 3, elektricky vodivé plošné spoje 4 a elektrické kontaktní plochy 5 jsou vyrobeny z mědi. Na elektrické kontaktní plochy 5 jsou ultrazvukově přivařeny elektricky vodivé přívody 6 z mědi. Podkladový substrát 7 je proveden z keramického oxidu hliníku Al_2O_3. Elektrické kontaktní plochy 5 slouží k připojení elektricky vodivých přívodů 6 pro napájení citlivé vrstvy 1 a měření Hallova napětí. Elektrický kontaktní bod 3 má tloušťku 15 µm.

Podkladový substrát 7 Hallových senzorů o tloušťce 800 µm a složení 99,9 % Al_2O_3 s citlivou vrstvou 1 z antimonu a s difúzně bariérovými mosty 2 ze slitiny wolframu a titanu byl vyroben z Nanoe Al100-BA granulátu při uniaxiálním lisovacím tlaku 200 až 250 MPa a sintrovací teplotě 1580 °C působících po dobu 2 hodin. Podkladový substrát 7 byl jednostranně vyleštěn na hrubost Ra 0,05 až 0,07 µm. Na podkladový substrát 7 byly metodou TPC (Thick printed Copper) natištěny elektrické kontaktní body 3, elektricky vodivé plošné spoje 4 a elektrické kontaktní plochy 5 z měděných přípravků Heraeus C7403A (15 µm) a C7404A (20 µm). Poté byly na podkladový substrát 7 naneseny magnetronovým naprašováním difúzně bariérové mosty 2 ze slitiny wolframu a titanu W90Ti10 s 10 % titanu o tloušťce 0,5 µm. Následně byla magnetronovým naprašováním nanesena citlivá vrstva 1 ve složení 99,99 % antimonu o tloušťce 160 nm. V posledním kroku byla citlivá vrstva 1 magnetronovým naprašováním pokryta pasivační vrstvou o tloušťce 3 µm oxidu hlinitého Al_2O_3. Elektricky vodivé přívody 6 byly přivařeny na elektrické kontaktní plochy 5 ultrazvukově. Vyrobené Hallovy senzory byly úspěšně testovány v laboratorním zařízení v homogenním magnetickém poli -1 až 1 T při teplotách 25 až 400 °C.

Detail citlivé vrstvy 1 z chemického prvku antimonu, difúzně bariérových mostů 2 ze slitiny wolframu a titanu a elektrických kontaktních bodů 3 z mědi je zobrazen na obr. 5. Difúzně bariérové mosty 2 jsou provedeny na všech ramenech citlivé vrstvy 1.

Pokud citlivou vrstvou 1, vytvořenou z chemického prvku antimonu prochází elektrický proud, vnější magnetické pole vyvolá vznik elektrického potenciálu kolmo ke směru toku elektrického proudu, který je možné měřit na elektrických kontaktních bodech 3 umístěných na kolmici k toku elektrického proudu.

V jiném příkladu provedení může být citlivá vrstva 1 o tloušťce obvykle 10 nanometrů až 10 mikrometrů a je tvořena z chemického prvku antimonu nebo jeho slitiny, přičemž obsah antimonu v citlivé vrstvě 1 je vyšší než 90 %, a slouží pro vlastní detekci a měření magnetického pole. Tvar citlivé vrstvy 1 může být rozmanitý, příklady jsou zobrazeny na obr. 8. Obvykle se volí pravoúhlé tvary jako je obdélník, čtverec, kosočtverec nebo kříž. V jiném příkladu provedení může být difúzní bariérový most 2 tvořen pouze wolframem nebo jiným poměrem ve slitině wolframu a titanu. Byly vyrobeny vzorky difúzních bariérových mostů 2 se slitinami 95W5Ti s 5 % titanu, 90W10Ti s 10 % titanu a 60W40Ti se 40 % titanu. Všechny uvedené slitiny efektivně chránily citlivou vrstvu 1 z antimonu a současně byly dostatečně adhezivní k podkladovému substrátu 7.

Elektrický kontaktní bod 3 je 100krát vyšší než citlivá vrstva 1, zatímco difúzně bariérový most 2 je jen 10krát vyšší než citlivá vrstva 1.

Na obr. 6 je schematicky zobrazen příklad a) známé plošné sendvičové bariéry 9 a b) difúzně bariérového mostu 2 podle technického řešení. Známá plošná sendvičová bariéra 9 brání difúzi v kolmém směru k citlivé vrstvě 1 a difúzní odpor je určen místem citlivé vrstvy 1 s nejnižším difúzním odporem. Difúzně bariérový most 2 podle tohoto technického řešení brání difúzi v podélném směru a difúzní odpor je určen difúzním odporem celého difúzně bariérového mostu 2.

Difúzně bariérové mosty 2 propojují citlivou vrstvu 1 na elektrické kontaktní body 3 a jsou vyrobené ze slitiny wolframu a titanu. Vnitřní okraj difúzně bariérového mostu 2 je vodivě překryt vnějším okrajem citlivé vrstvy 1, a to schodovitým lemem 8, který přesahuje až na horní povrch difúzně bariérového mostu 2. V jiném nezobrazeném příkladu může být schodovitý lem 8 vytvořen obráceně, a to tak, že vnitřní okraj difúzně bariérového mostu 2 tvoří schodovitý lem 8 přesahující přes vnější okraj citlivé vrstvy 1 až na její horní povrch, že okraj citlivé vrstvy 1 vodivě překrývá.

Elektrické kontaktní body 3 jsou obvykle čtyři. Slouží pro připojení elektricky vodivých plošných spojů 4 na difúzně bariérový most 2. Provedení elektrických kontaktních bodů 3 může být různé. Obvykle se jedná o dobře vodivý kov (měď, platina ad.). Vnitřní okraj elektrických kontaktních bodů 3 je vodivě překryt okrajem difúzně bariérového mostu 2, a to schodovitým lemem 8, který přesahuje až na horní povrch elektrických kontaktních bodů 3. V jiném nezobrazeném příkladu může být schodovitý lem 8 vytvořen obráceně, a to tak, že vnitřní okraj elektrického kontaktního bodu 3 tvoří schodovitý lem 8 přesahující přes vnější okraj difúzně bariérového mostu 2 až na jeho horní povrch.

Obr. 7 ukazuje výhodu ve zmenšení výšky přechodu citlivé vrstvy 1 na elektrický kontaktní bod 3 při použití difúzně bariérového mostu 2 podle tohoto technického řešení. Na obrázku je schematicky zobrazen řez napojení citlivé vrstvy 1 antimonového Hallova senzoru na elektrický kontaktní bod 3 pomocí a) známé plošné sendvičové bariéry 9 a b) difúzně bariérového mostu 2. Výška přechodu je znázorněna schematicky, ve skutečnosti je elektrický kontaktní bod 3 100krát vyšší než citlivá vrstva 1, zatímco difúzně bariérový most 2 je jen 3krát vyšší než citlivá vrstva 1.

Hallovo napětí antimonového Hallova senzoru s citlivou vrstvou 1 vyrobenou z chemického prvku antimonu a s difúzně bariérovými mosty 2 podle tohoto technického řešení vyrobenými ze slitiny chemických prvků wolframu a titanu závisí lineárně na velikosti magnetického pole kolmého k rovině citlivé vrstvy 1. Graf na obr. 9 zobrazuje křivky, které odpovídají závislosti Hallova napětí

senzoru s citlivou vrstvou 1 o tloušťce 160 nm vyrobenou z chemického prvku antimonu, jehož obsah v citlivé vrstvě je vyšší než 99,9 %, a s difúzně bariérovými mosty 2 vyrobenými ze slitiny wolframu a titanu s obsahem wolframu 90 % a titanu 10 % na magnetickém poli při různých teplotách. Křivka *a* odpovídá teplotě senzoru 100 °C, křivka *b* odpovídá teplotě senzoru 200 °C, křivka *c* odpovídá teplotě senzoru 300 °C a křivka *d* odpovídá teplotě senzoru 400 °C. Při měření byl Hallův senzor umístěn v magnetickém poli 100 mT.

Graf závislosti citlivosti antimonového Hallova senzoru s citlivou vrstvou 1 o tloušťce 160 nm vyrobenou z chemického prvku antimonu, jehož obsah v citlivé vrstvě je vyšší než 99,9 %, a s difúzně bariérovými mosty 2, vyrobenými ze slitiny wolframu a titanu s obsahem wolframu 90 % a titanu 10 %, na teplotě je zobrazen na obr. 10. Citlivost Hallova senzoru nelineárně klesá s rostoucí teplotou sensoru.

Graf závislosti elektrického odporu antimonového Hallova senzoru s citlivou vrstvou 1 o tloušťce 160 nm vyrobenou z chemického prvku antimonu, jehož obsah v citlivé vrstvě je vyšší než 99,9 %, a s difúzně bariérovými mosty 2, vyrobenými ze slitiny wolframu a titanu s obsahem wolframu je 90 % a titanu 10 %, na teplotě je zobrazen na obr. 11. Elektrický odpor Hallova senzoru nelineárně roste s rostoucí teplotou senzoru.

Průmyslová využitelnost

Hallův senzor podle tohoto technického řešení umožňuje instalaci magnetických senzorů do provozů průmyslu, energetiky a jaderného průmyslu, ve kterých je vyžadována vysokoteplotní anebo radiační odolnost. Uplatnění mohou Hallovy senzory nalézt v automobilovém průmyslu, v energetice, při likvidaci jaderných havárií nebo vyřazování jaderných elektráren z provozu. Hallovy sensory přispějí k rychlejší implementaci automatizace a robotizace do technologických procesů vyžadujících zmenšení podílu lidské práce s cílem snížení zdravotních rizik obsluhujícího personálu.

V dlouhodobém horizontu jsou antimonové Hallovy senzory podle tohoto technického řešení důležité pro rozvoj fúzní energetiky. Hallovy senzory budou klíčovou součástí budoucích fúzních energetických reaktorů. Magnetický systém udržující plazma bude v budoucích fúzních energetických reaktorech jednou z hlavních reaktorových technologií a měření magnetického pole bude poskytovat kriticky důležité informace pro řízení reaktoru. Hallovy senzory umožní měřit ustálené magnetické pole a předávat tyto informace do řídicího systému. Prostředí fúzních energetických reaktorů přitom bude klást velmi vysoké požadavky na teplotní a radiační odolnost senzorů.

NÁROKY NA OCHRANU

1. Hallův senzor zahrnující podkladový substrát (7), elektrické kontaktní body (3) z elektricky vodivého materiálu uspořádané na podkladovém substrátu (7) alespoň ve dvou protilehlých dvojicích v křížovitém uspořádání, a citlivou vrstvu (1) o tloušťce 1 nanometru až 1 milimetru, vytvořenou z chemického prvku antimonu nebo jeho slitiny, uspořádanou na podkladovém substrátu (7), přičemž obsah antimonu v citlivé vrstvě (1) je vyšší než 90 %, **vyznačující se tím**, že dále zahrnuje alespoň čtyři difúzně bariérové mosty (2) z wolframu nebo ze slitiny wolframu a titanu s obsahem wolframu nejméně 60 % uspořádané na podkladovém substrátu (7) mezi citlivou vrstvou (1) a elektrickými kontaktními body (3) tak, že přiléhají k vnějšímu okraji citlivé vrstvy (1) a zároveň k vnitřnímu okraji každého elektrického kontaktního bodu (3), přičemž vnější okraj citlivé vrstvy (1) je okraj ležící v radiálním směru dále od středu Hallova senzoru, a vnitřní okraj elektrického kontaktního bodu (3) je okraj ležící v radiálním směru blíže od středu Hallova senzoru.

2. Hallův senzor podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že vnější okraj difúzně bariérového mostu (2) tvoří schodovitý lem (8) přesahující přes vnitřní okraj elektrického kontaktního bodu (3) až na jeho horní povrch.

3. Hallův senzor podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že vnitřní okraj elektrického kontaktního bodu (3) tvoří schodovitý lem (8) přesahující přes vnější okraj difúzně bariérového mostu (2) až na jeho horní povrch.

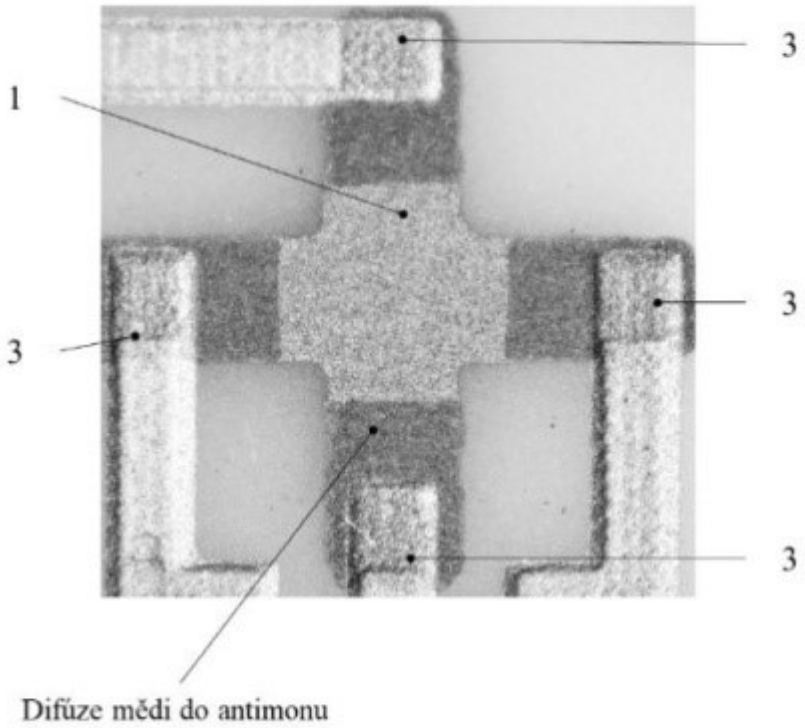
4. Hallův senzor podle některého z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že vnitřní okraj difúzně bariérových mostů (2) tvoří schodovitý lem (8) přesahující přes vnější okraj citlivé vrstvy (1) až na její horní povrch.

5. Hallův senzor podle některého z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že vnější okraj citlivé vrstvy (1) tvoří schodovitý lem (8) přesahující přes vnitřní okraj difúzně bariérových mostů (2) až na jeho horní povrch.

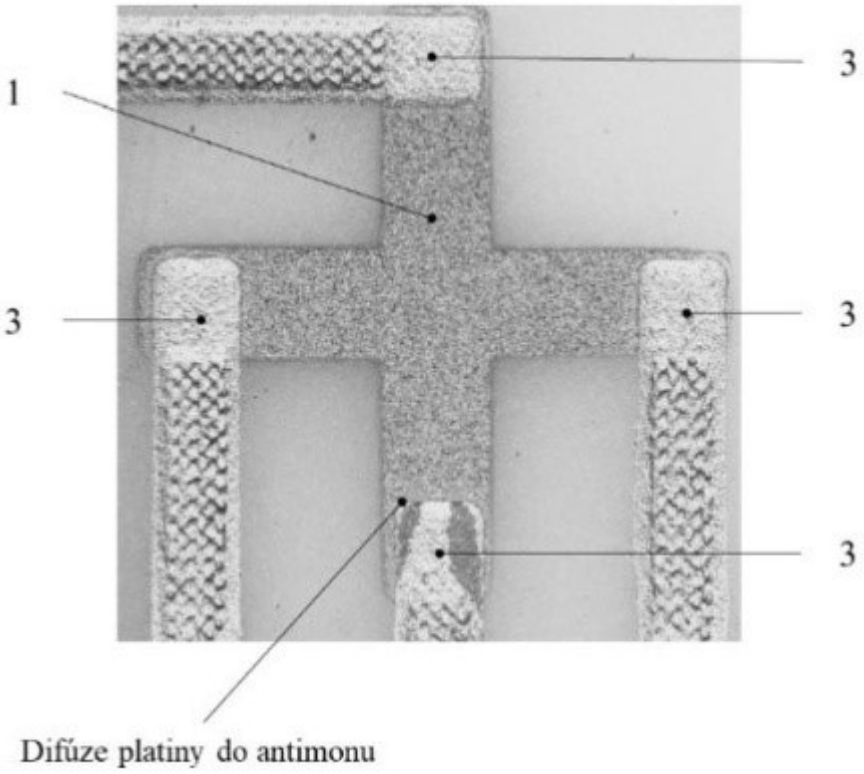
11 výkresů

Seznam vztahových značek:

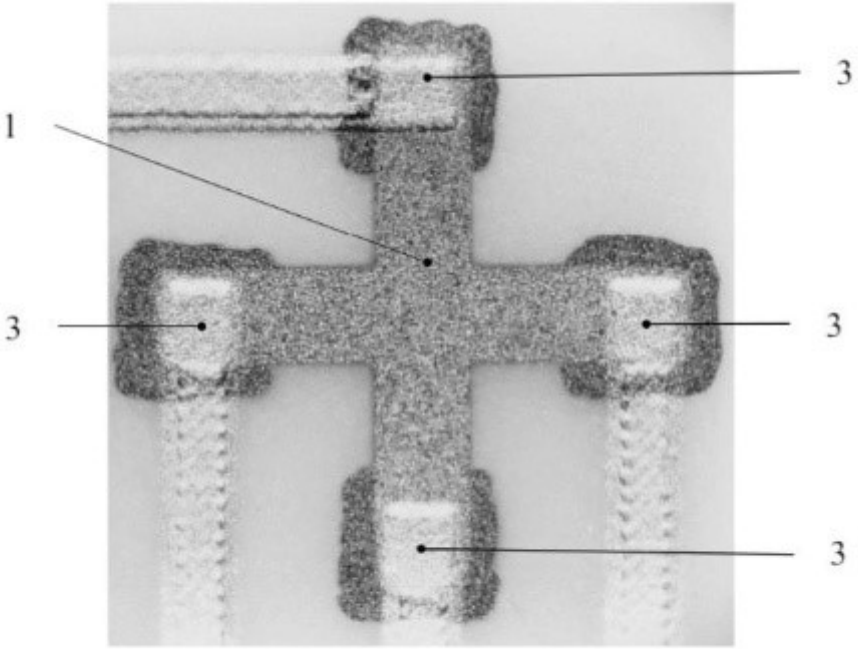
1 citlivá vrstva
2 difúzně bariérový most
3 elektrický kontaktní bod
4 elektricky vodivý plošný spoj
5 elektrická kontaktní plocha
6 elektricky vodivý přívod
7 podkladový substrát
8 schodovitý lem
9 plošná sendvičová bariéra



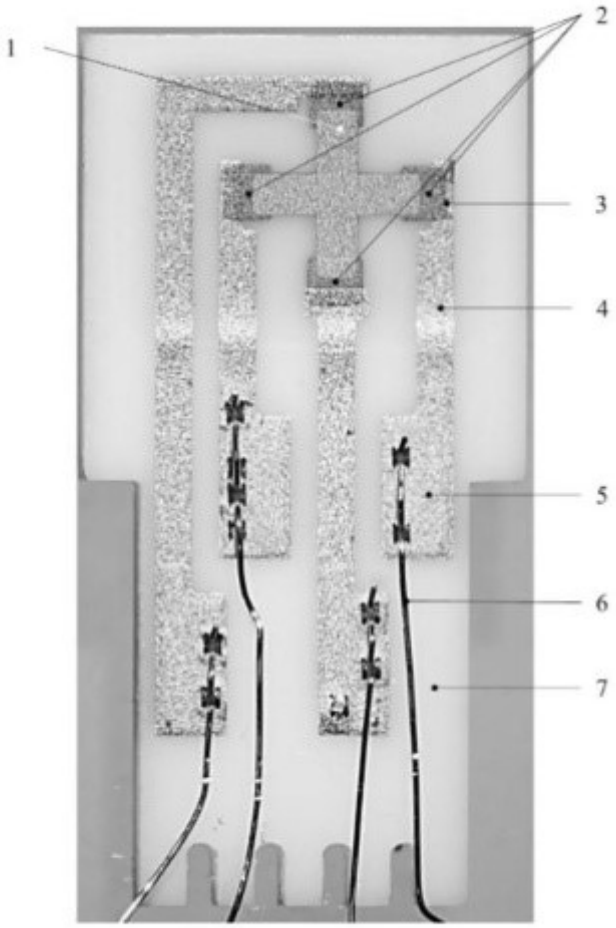
Obr. 1



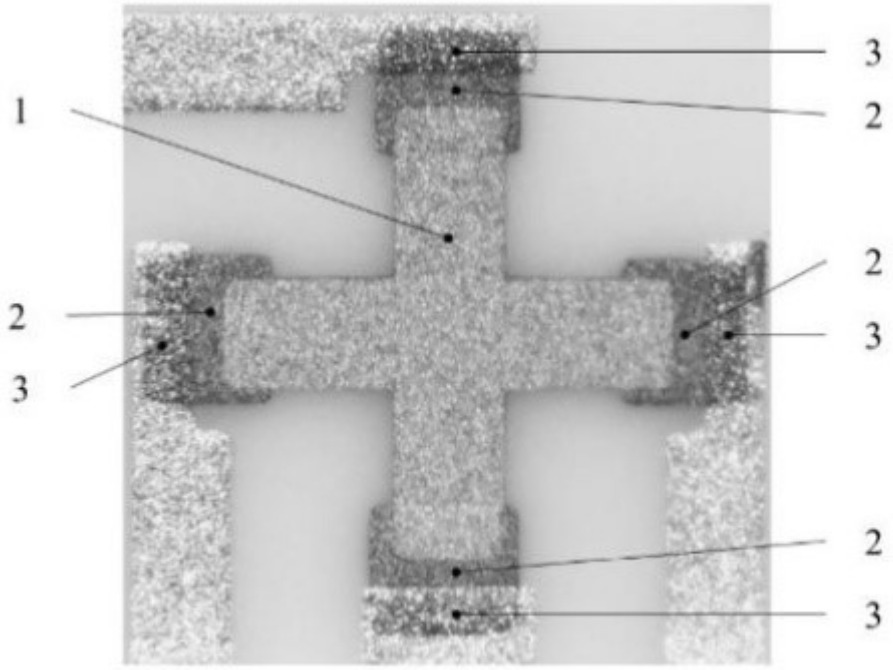
Obr. 2



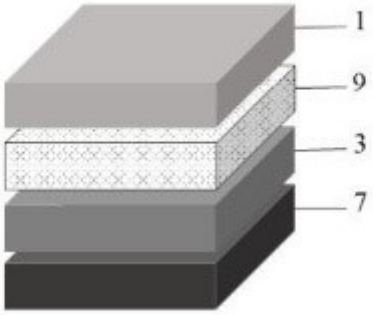
Obr. 3



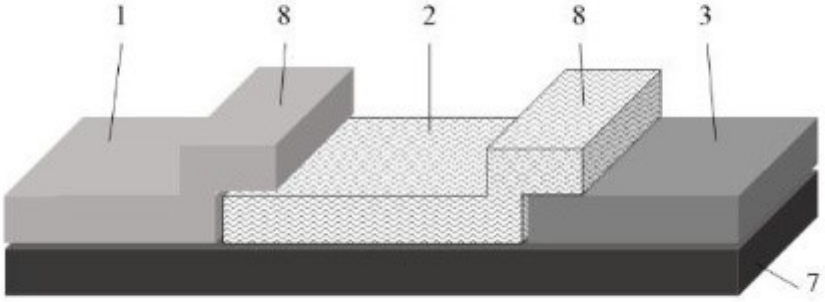
Obr. 4



Obr. 5

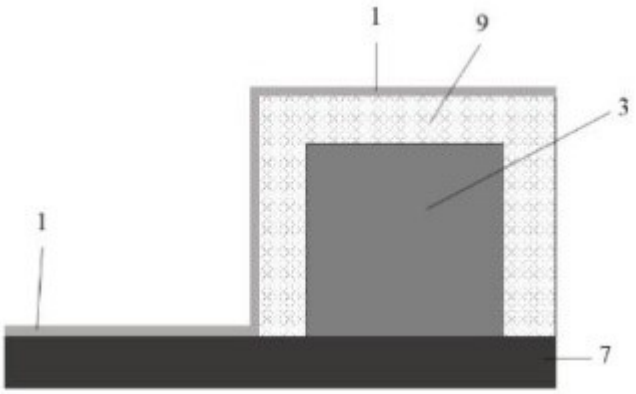


a) Používané sendičové řešení

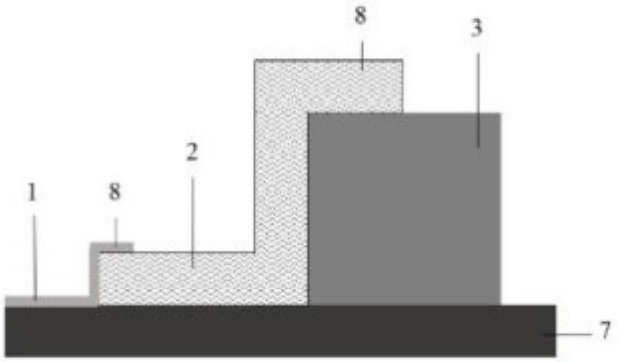


b) Laterární most podle tohoto vynálezu

Obr. 6

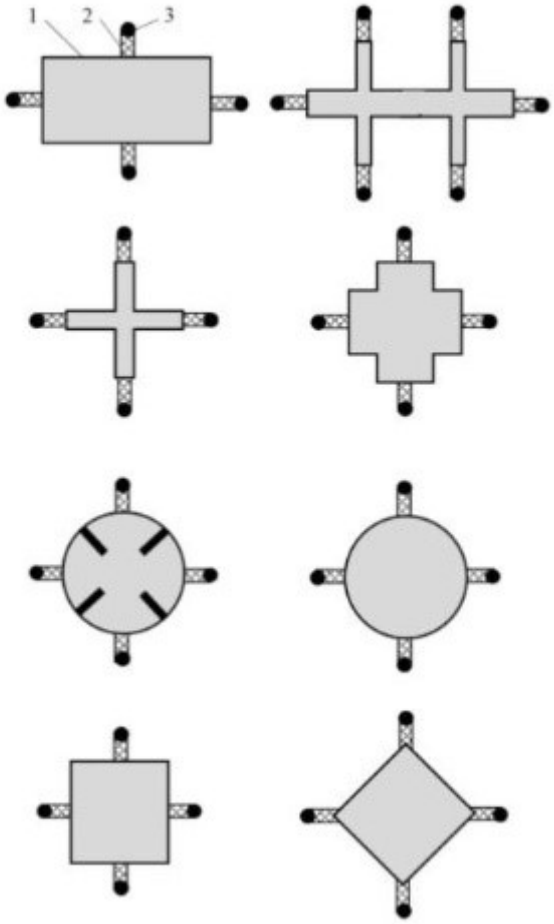


a) Používané sendvičové řešení

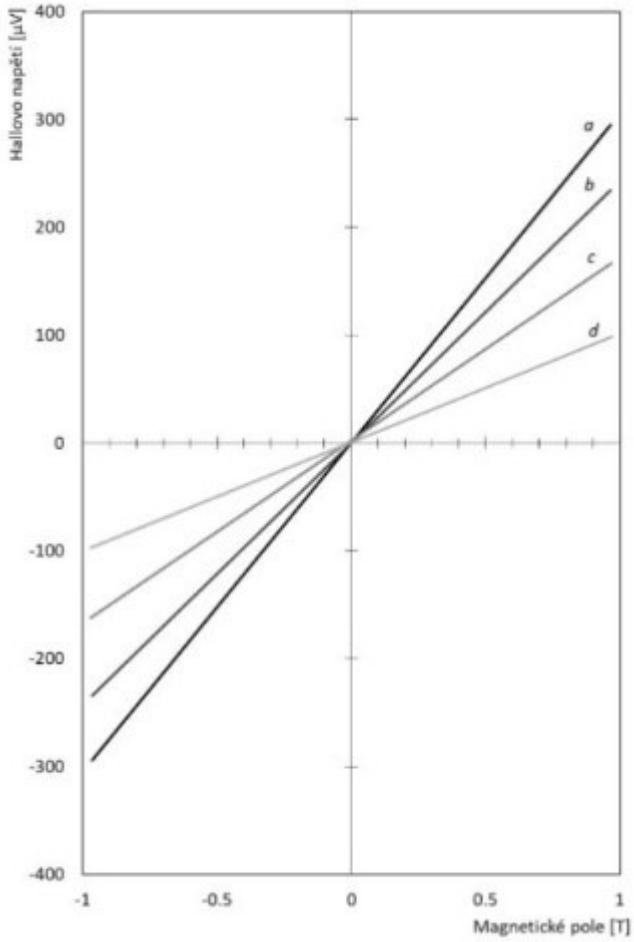


b) Laterární most podle tohoto vynálezu

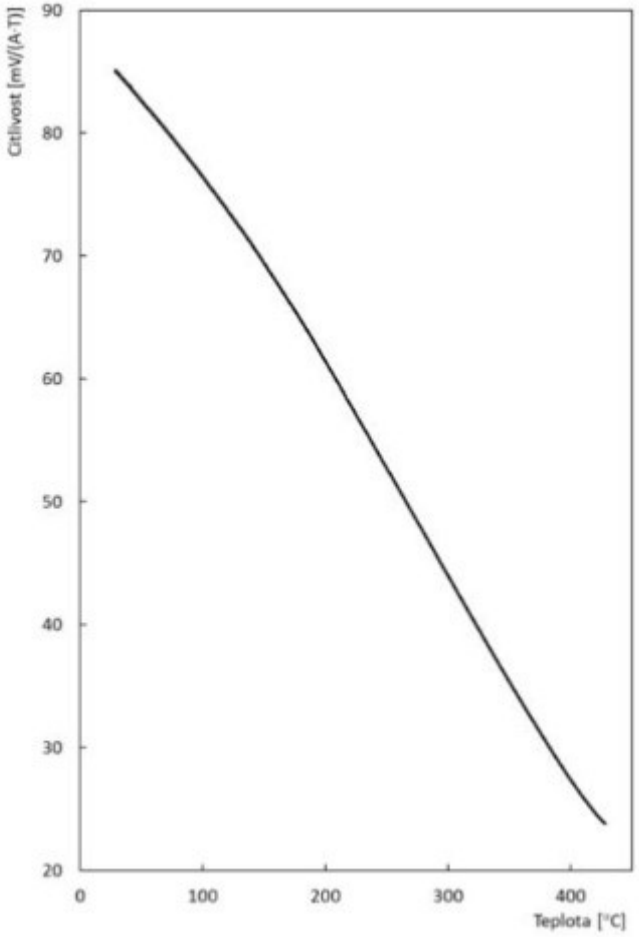
Obr. 7



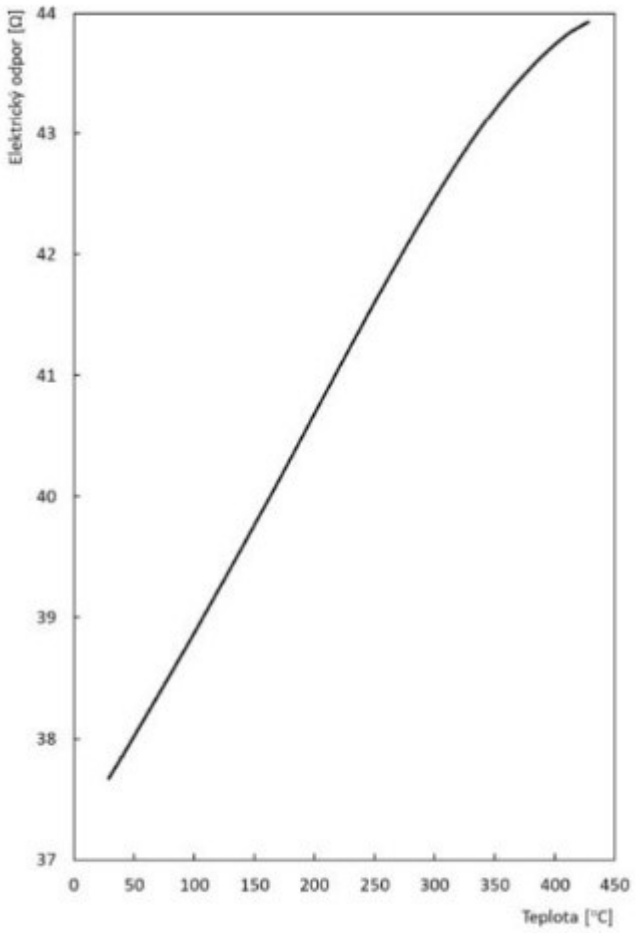
Obr. 8


Hallovo napětí [µV]
400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
-1
-0.5
0
0.5
1
Magnetické pole [T]
a
b
c
d

Obr. 9


Citlivost [mV/(A·T)]
90
80
70
60
50
40
30
20
0
100
200
300
400
Teplota [°C]

Obr. 10


Elektrický odpor [Ω]
44
43
42
41
40
39
38
37
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
Teplota [°C]

Obr. 11