

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2021-10**
 (22) Přihlášeno: **12.01.2021**
 (40) Zveřejněno: **02.03.2022**
(Věstník č. 9/2022)
 (47) Uděleno: **21.01.2022**
 (24) Oznámení o udělení ve věstníku: **02.03.2022**
(Věstník č. 9/2022)

(56) Relevantní dokumenty:

Attarid M.Oufi, Ausama I.Khudiari, Yahya M.Abdul-Hussein: Impact of gamma rays on physical properties of chromium oxide thin films, Radiation Physics and Chemistry, Volume 170, May 2020, <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108494>, [Retrieved on 2021-06-29], Retrieved from <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969806X19305213>>.
 US 2009251139 A1; CZ 308527 B1.

(73) Majitel patentu:

Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v. v. i., Praha 8,
 Libeň, CZ

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Praha 8, Libeň, CZ

(72) Původce:

Ing. Ivan Ďuran, Ph.D., Drahelčice, CZ

Ing. Slavomír Entler, Ph.D., Chrášťany, CZ

Ing. Zbyněk Šobáň, Ph.D., Praha 6, Dejvice, CZ

(74) Zástupce:

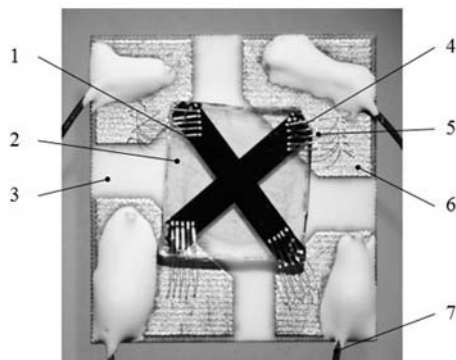
Ing. Slavomír Entler, Ph.D., Černíkovice 31, 257 56
 Chrášťany

(54) Název vynálezu:

Chromový Hallův senzor

(57) Anotace:

Chromový Hallův senzor je tvořen citlivou vrstvou (1), teplotně a radiačně odolným nosičem citlivé vrstvy (2), teplotně a radiačně odolným podkladovým substrátem (3), elektrickými kontaktními body (4) z vodivého materiálu, elektrickými spoji (5) z vodivého materiálu, elektrickými kontaktními plochami (6) z vodivého materiálu a elektrickými přívody (7) z vodivého materiálu. Citlivá vrstva (1) o síle 1 nm až 100 μm je tvořena z chemického prvku chromu nebo jeho slitiny. Obsah chromu v citlivé vrstvě (1) je vyšší než 95 %.



Chromový Hallův senzor

Oblast techniky

5

Vynález se týká vysokoteplotního a radiačně odolného Hallova senzoru. Hallův senzor slouží k měření magnetického pole. Při automatizaci procesů slouží Hallův senzor pro bezkontaktní měření polohy, pohybu nebo otáček, v elektrotechnice slouží pro bezkontaktní měření elektrického proudu.

10

Dosavadní stav techniky

15

Doposud známé Hallovy senzory používají polovodičovou citlivou vrstvu. Polovodiče nabízejí vysokou citlivost na magnetické pole a provozní podmínky polovodičů vyhovují většině aplikací. Tyto doposud známé Hallovy senzory ale nelze použít, pokud aplikace vyžaduje nasazení 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.

20

25

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.

30

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

35

Tuto nevýhodu částečně řeší Hallovy senzory s citlivou vrstvou z antimonu podle patentové listiny CZ 308527 B6, které mohou pracovat do 500 °C. Senzory s citlivou vrstvou z antimonu mohou ale pracovat pouze do teploty 500 °C z důvodu nízké teploty tání antimonu 630 °C.

40

Další nevýhodou senzorů s citlivou vrstvou z antimonu je, že mohou pracovat pouze do fluence 10^{22} částic/m². Nevýhodou Hallových senzorů s citlivou vrstvou z antimonu je také vysoká závislost citlivosti senzorů na teplotě senzoru, což znamená, že pro měření magnetického pole je nutné současně měřit teplotu senzoru.

45

Použití senzorů s citlivou vrstvou z chemického prvku chrómu nebylo doposud nikde popsáno. Chróm se výjimečně používal pouze pro zlepšení vlastností polovodičových senzorů, ale zatím nikdy nebyl použit jako hlavní materiál citlivé vrstvy senzorů.

50

Podstata vynálezu

55

Uvedené nedostatky do značné míry odstraňuje chromový Hallův senzor, který je tvořen teplotně a radiačně odolnou citlivou vrstvou 1, teplotně a radiačně odolným nosičem 2 citlivé vrstvy, teplotně a radiačně odolným podkladovým substrátem 3, elektrickými kontaktními body 4 z vodivého materiálu, elektrickými spoji 5 z vodivého materiálu, elektrickými kontaktními plochami 6 z vodivého materiálu a elektrickými přívody 7 z vodivého materiálu podle tohoto vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že citlivá vrstva 1 o síle 1 nanometru až 100 mikrometrů je tvořena z chemického prvku chrómu nebo jeho slitiny, přičemž obsah chrómu v citlivé vrstvě 1 je vyšší než 95 %.

55

Hlavní výhoda tohoto vynálezu je spatřována v tom, že spolehlivě řeší detekci a měření magnetického pole Hallovým senzorem při vysokých teplotách nejméně do teploty 550 °C a citlivost senzoru při vysokých teplotách jen slabě závisí na teplotě.

5

Další výhoda je spatřována v tom, že se chromové Hallovy senzory podle tohoto vynálezu jeví jako potenciálně využitelné v prostředí s velmi silným ionizujícím zářením s celkovou fluencí až 10^{26} částic/m².

10 Chromové Hallovy senzory podle tohoto vynálezu umožňují instalaci magnetických senzorů do provozů průmyslu, energetiky a jaderného průmyslu, ve kterých je vyžadována vysokoteplotní a/nebo radiační odolnost. Čidla přispějí k rychlejší implementaci průmyslu 4.0 do technologických procesů primárně vyžadujících automatizaci s cílem snížení zdravotních rizik obsluhujícího personálu.

15

V dlouhodobém horizontu jsou vysokoteplotní a radiačně odolné Hallovy senzory podle tohoto vynálezu důležité pro rozvoj jaderné energetiky. Tyto Hallovy senzory budou 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 20 stacionární magnetické pole a předávat informace do řídicího systému. Pro prostředí fúzních energetických reaktorů přitom klade vysoké požadavky na teplotní a radiační odolnost senzorů.

25 Objasnění výkresů

Vynález bude blíže osvětlen pomocí obr. 1, který znázorňuje příklad Hallova senzoru s citlivou vrstvou 1 ve tvaru kříže vyrobenou z chemického prvku chrómu.

30 Na obr. 2 jsou zobrazeny příklady geometrie citlivé vrstvy 1 a rozmístění elektrických kontaktních bodů 4. Obvyklý počet elektrických kontaktních bodů 4 je čtyři – dva pro napájení a dva pro detekci výstupního napětí senzoru.

Obr. 3 ukazuje příklady provedení samostatných (neintegrovaných) Hallových senzorů.

35

Obr. 4 zobrazuje nákresy a) horizontálního a b) vertikálního provedení integrovaných Hallových senzorů.

Obr. 5 ukazuje příklady horizontálního provedení integrovaných Hallových senzorů.

40

Obr. 6 ukazuje příklad a nákres vertikálního provedení Hallových senzorů.

45 Na obr. 7 je zobrazen graf závislosti Hallova napětí chromového Hallova senzoru podle tohoto vynálezu s citlivou vrstvou 1 o tloušťce 50 nm tvořenou z chemického prvku chrómu, jehož obsah v citlivé vrstvě 1 je vyšší než 99,9 %, na vnějším magnetickém poli působícím kolmo k rovině citlivé vrstvy 1 při teplotách senzoru 20 °C a 120 °C.

50 Na obr. 8 je zobrazen graf závislosti citlivosti chromového Hallova senzoru podle tohoto vynálezu s citlivou vrstvou 1 o tloušťce 50 nm tvořenou z chemického prvku chrómu, jehož obsah v citlivé vrstvě 1 je vyšší než 99,9 %, na teplotě senzoru.

Příklady uskutečnění vynálezu

Testovaný chromový Hallův senzor je tvořen citlivou vrstvou 1, nosičem 2 citlivé vrstvy, podkladovým substrátem 3, elektrickými kontaktními body 4 z vodivého materiálu, elektrickými spoji 5 z vodivého materiálu a elektrickými kontaktními plochami 6 z vodivého materiálu. Kontaktní plochy 6 slouží k připojení elektrických přívodů 7 pro napájení citlivé vrstvy 1 a měření Hallova napětí. Pokud citlivou vrstvou 1, vytvořenou z chemického prvku chrómu nebo jeho slitiny, přičemž obsah chrómu v citlivé vrstvě 1 je vyšší než 95 %, prochází elektrický proud, vnější magnetické pole vyvolá vznik elektrického potenciálu kolmo ke směru toku elektrického proudu, který je možné měřit na elektrických kontaktních bodech 4 umístěných na kolmici k toku elektrického proudu.

Hallovy senzory mohou být provedeny jako samostatný senzor, anebo mohou být integrovány na společný substrát spolu s elektronikou zpracovávající signál senzoru (integrované senzory).

Citlivá vrstva 1 o síle obvykle 10 nanometrů až 10 mikrometrů je tvořena z chemického prvku chrómu nebo jeho slitiny, přičemž obsah chrómu v citlivé vrstvě 1 je vyšší než 95 %, a slouží pro vlastní detekci a měření magnetického pole. Tvar citlivé vrstvy 1 může být rozmanitý, příklady jsou zobrazeny na obr. 2. Obvykle se volí pravoúhlé tvary jako je obdélník, čtverec, kosočtverec nebo kříž. Citlivá vrstva 1 je elektricky připojena prostřednictvím elektrických kontaktních bodů 4. Elektrické kontaktní body 4 jsou obvykle čtyři. Slouží pro připojení elektrických spojů 5 na citlivou vrstvu 1. Jejich provedení může být různé, musí ale dostatečně elektricky propojit elektrické spoje 5 a citlivou vrstvu 1. Obvykle se jedná o dobře vodivý kov (chróm, měď, platina ad.), který vodivě překrývá citlivou vrstvu 1, je citlivou vrstvou 1 vodivě překryt, je do citlivé vrstvy 1 zapuštěn nebo jde přímo o část citlivé vrstvy 1. Elektrické spoje 5 slouží pro propojení elektrických kontaktních bodů 4 a elektrických kontaktních ploch 6. Jejich provedení, forma, tvar a rozměry jsou libovolné. Elektrické spoje 5 mohou mít formu drátků nebo plošných vodičů. Mohou být vyrobeny z libovolného vodivého materiálu, obvykle se vyrábějí z mědi nebo hliníku. Elektrické kontaktní plochy 6 slouží pro připojení elektrických přívodů 7. Jejich tvar a rozměry jsou libovolné. Mohou být vyrobeny z libovolného vodivého materiálu, obvykle se vyrábějí z mědi nebo platiny. Nosič 2 citlivé vrstvy slouží jako podklad pro citlivou vrstvu 1. Může být vyroben z různých materiálů a o různých rozměrech. Materiál nosiče 2 citlivé vrstvy musí být elektrický izolant i při vysokých teplotách, aby nedošlo k elektrickým svodům z citlivé vrstvy 1, a musí být teplotně a radiačně odolný. Vhodné jsou keramické materiály jako je oxid hliníku Al_2O_3 , oxid křemíku SiO_2 nebo nitrid křemíku Si_3N_4 . Povrch nosiče 2 citlivé vrstvy musí být vyhlazen, aby bylo možné na nosič 2 citlivé vrstvy nanést spojitou tenkou citlivou vrstvu 1. Nosič 2 citlivé vrstvy je keramickou pastou oxidu hliníku Al_2O_3 nebo nitridu hliníku AlN přilepen na podkladový substrát 3. Citlivou vrstvu 1 je také možné aplikovat přímo na podkladový substrát 3, který pak zastává i funkci nosiče 2 citlivé vrstvy. Podkladový substrát 3 slouží jako základna senzoru. Může být vyroben z různých materiálů a o různých rozměrech. Materiál podkladového substrátu 3 musí být elektrický izolant i při vysokých teplotách, aby nedošlo k elektrickým svodům mezi elektrickými kontaktními plochami 6 z vodivého materiálu, a musí být teplotně a radiačně odolný. Vhodné jsou keramické materiály jako je oxid hliníku Al_2O_3 , oxid křemíku SiO_2 nebo nitrid křemíku Si_3N_4 .

Obr. 1 znázorňuje příklad chromového Hallova senzoru s citlivou vrstvou 1 ve tvaru kříže vyrobenou z chemického prvku chrómu. Rozměry tohoto příkladu jsou 10 mm x 10 mm. Citlivá vrstva 1 má plošné rozměry 5 mm x 5 mm a tloušťku 50 nm, a je provedena z chemického prvku chrómu, jehož obsah v citlivé vrstvě je vyšší než 99,9 %. Nosič 2 citlivé vrstvy je proveden ze safíru (monokrystal oxidu hliníku Al_2O_3) s hrubostí povrchu menší než 1 nm. Podkladový substrát 3 je proveden z keramického oxidu hliníku Al_2O_3 . Elektrické kontaktní body 4 jsou vyrobeny z chrómu a jsou součástí citlivé vrstvy 1. Elektrické spoje 5 jsou provedeny z hliníkových drátků o průměru 30 μm a jsou na elektrické kontaktní body 4 přivařeny ultrazvukovým bondováním. Elektrické spoje 5 vodivě propojují elektrické kontaktní body 4 a elektrické kontaktní plochy 6

vyrobené z mědi. Na elektrické kontaktní plochy 6 jsou přivařeny elektrické přívody 7 z mědi, které jsou zafixované keramickou pastou oxidu hliníku Al_2O_3 .

5 Hallovo napětí chromového Hallova senzoru s citlivou vrstvou 1 tvořenou z chemického prvku chromu podle tohoto vynálezu závisí lineárně na velikosti magnetického pole kolmého k rovině citlivé vrstvy 1 (obr. 7). Tato lineární závislost umožní snadnou kalibraci senzorů. Graf na obr. 7
10 zobrazuje křivku *a*, která odpovídá závislosti Hallova napětí senzoru s citlivou vrstvou 1 o tloušťce 50 nm tvořenou z chemického prvku chromu, jehož obsah v citlivé vrstvě je vyšší než 99,9 %, na magnetickém poli při teplotě senzoru 20 °C, a křivku *b*, která odpovídá závislosti Hallova napětí senzoru na magnetickém poli při teplotě senzoru 120 °C.

Graf citlivosti chromového Hallova senzoru s citlivou vrstvou 1 o tloušťce 50 nm tvořenou z chemického prvku chromu, jehož obsah v citlivé vrstvě je vyšší než 99,9 %, na teplotě senzoru je uveden na obr. 8. Hallovo napětí chromového Hallova senzoru závisí nelineárně na teplotě citlivé
15 vrstvy 1. Výhodou chromového Hallova senzoru podle tohoto vynálezu je malá závislost citlivosti senzoru na teplotě senzoru při teplotách vyšších než 300 °C.

Průmyslová využitelnost

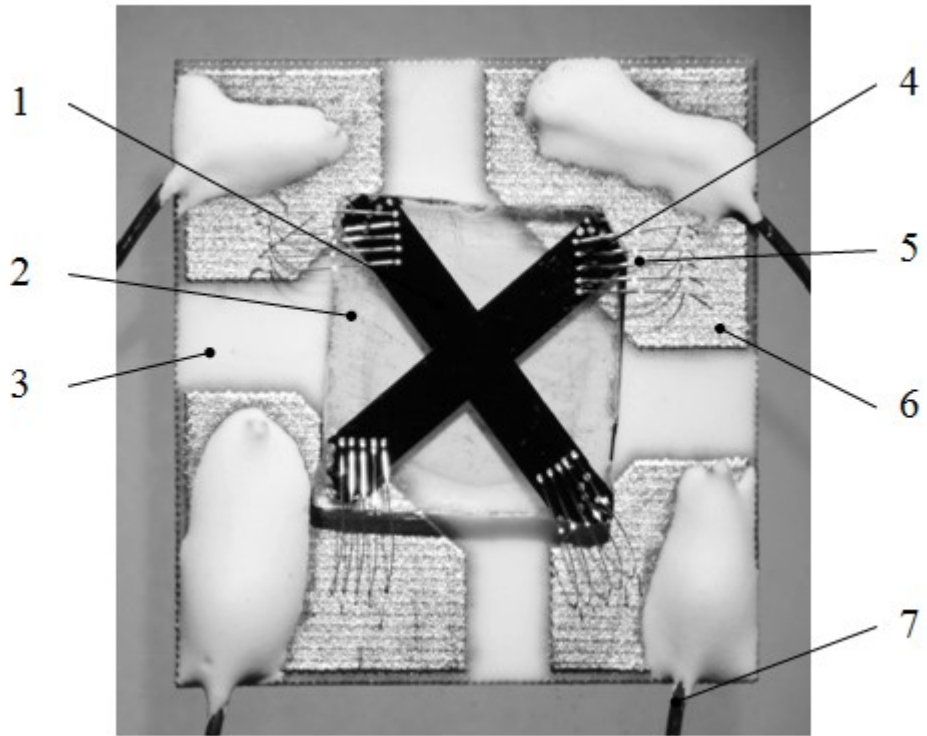
20 Vysokoteplotní a radiačně odolné Hallové senzory, podle tohoto vynálezu, umožní instalaci magnetických senzorů do provozů průmyslu, energetiky a jaderného průmyslu, ve kterých je vyžadována vysokoteplotní a/nebo radiační odolnost. Uplatnění mohou senzory nalézt také při likvidaci jaderných havárií.

25

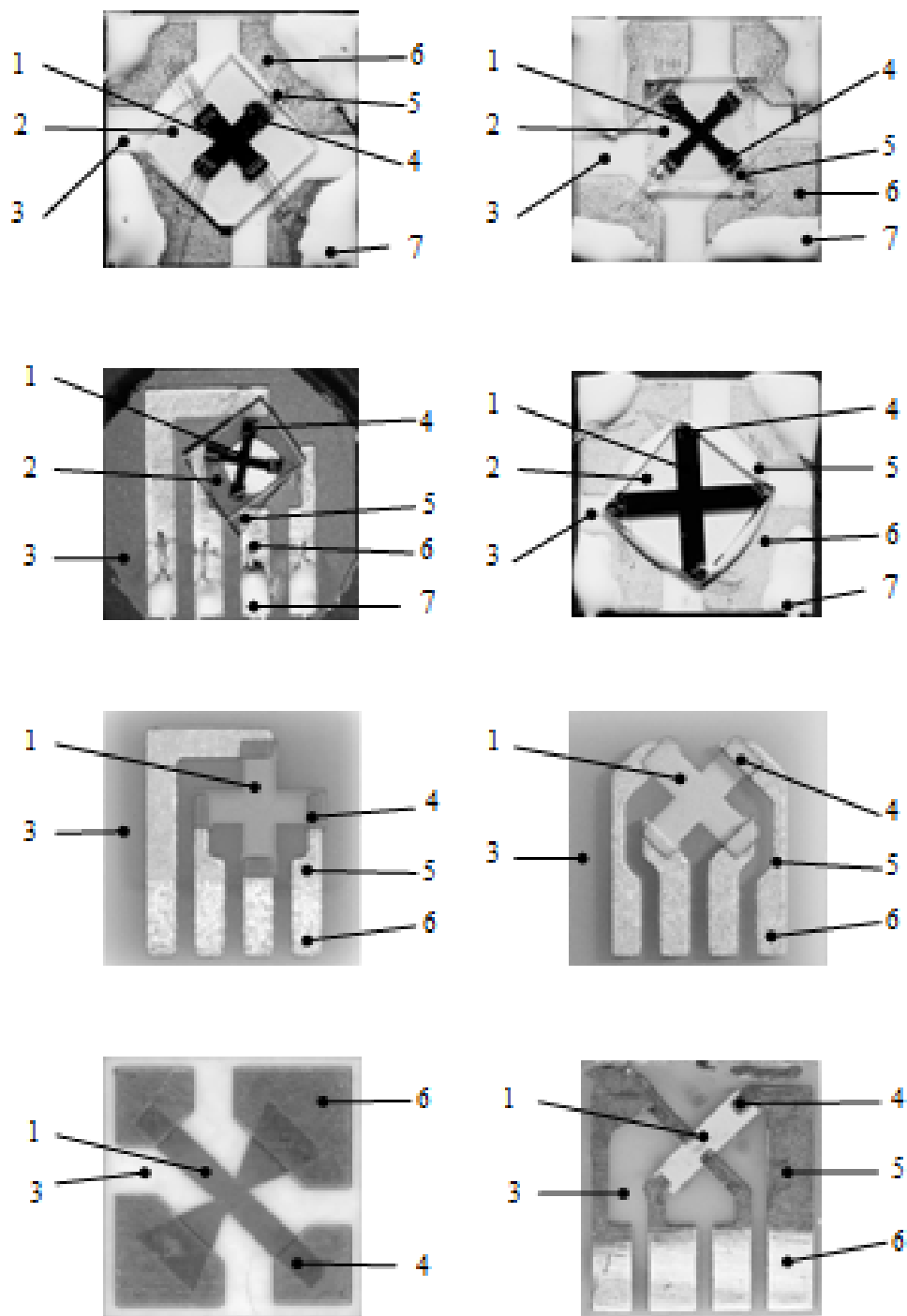
PATENTOVÉ NÁROKY

- 5 1. Chromový Hallův senzor je tvořen citlivou vrstvou (1), která je umístěna na teplotně a
radiačně odolném nosiči (2) citlivé vrstvy umístěném na teplotně a radiačně odolném podkladovém
substrátu (3), a která je propojena elektrickými kontaktními body (4) z vodivého materiálu a
elektrickými spoji (5) z vodivého materiálu na elektrické kontaktní plochy (6) z vodivého materiálu
s připojenými elektrickými přívody (7) z vodivého materiálu, **vyznačující se tím**, že citlivá vrstva
10 (1) o síle 1 nanometru až 100 mikrometrů je tvořena z chemického prvku chrómu nebo jeho slitiny,
příčemž obsah chrómu v citlivé vrstvě (1) je vyšší než 95 %.

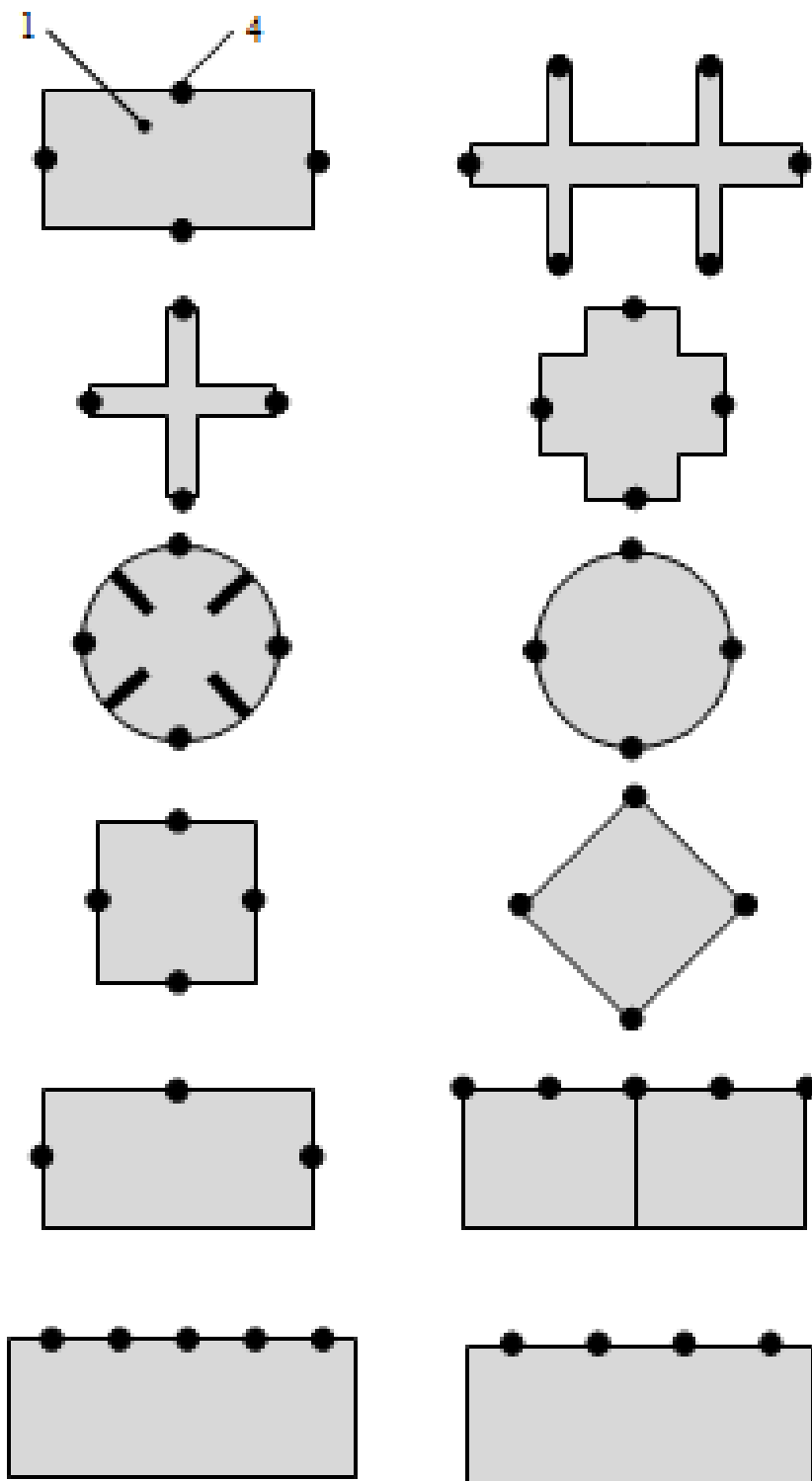
8 výkresů



Obr. 1

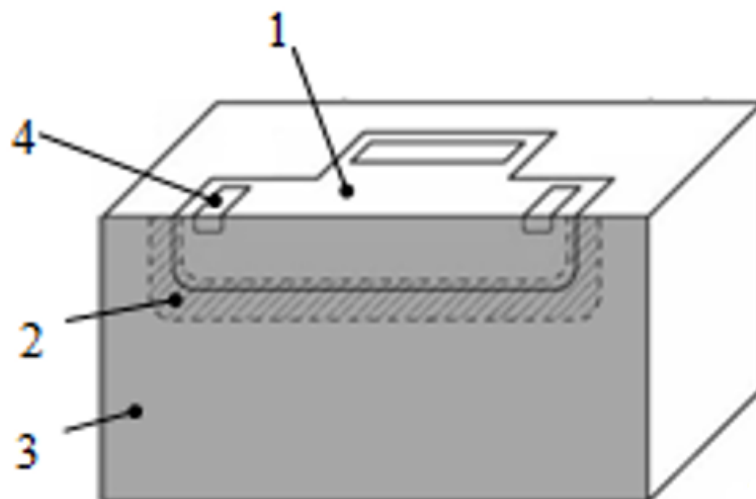


Obr. 2

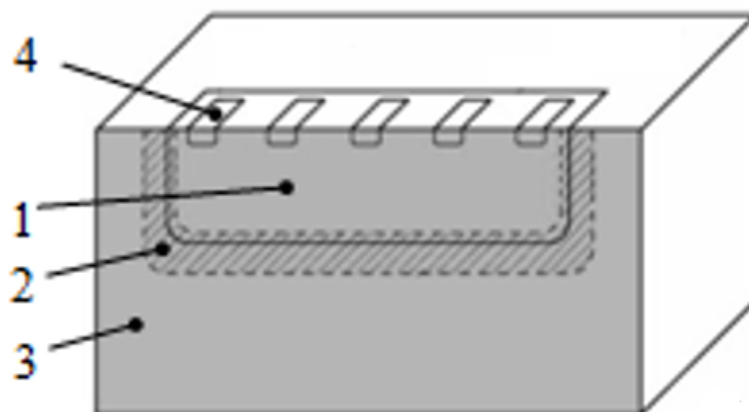


Legenda: Cítilivá vrstva (1)
 Elektrické kontaktní body

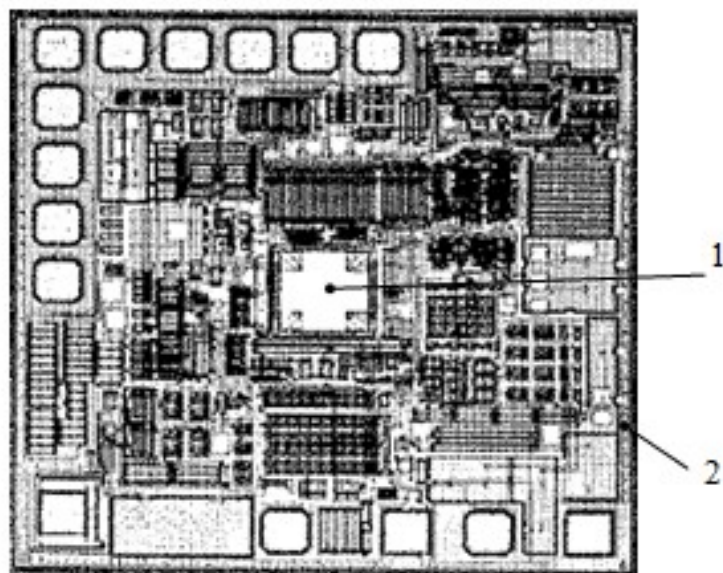
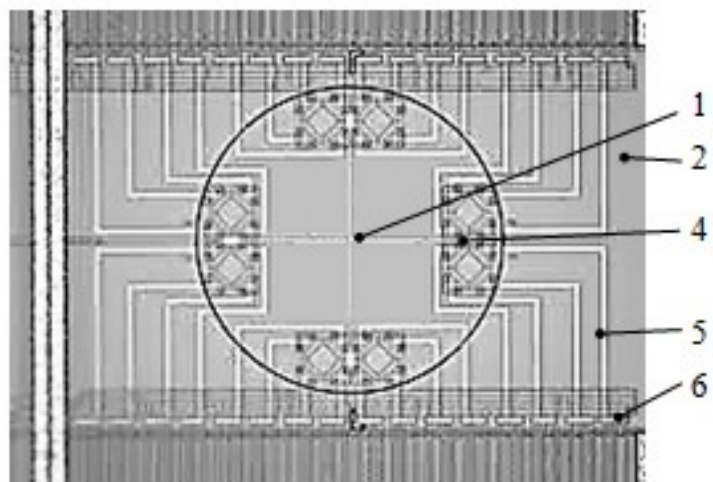
Obr. 3



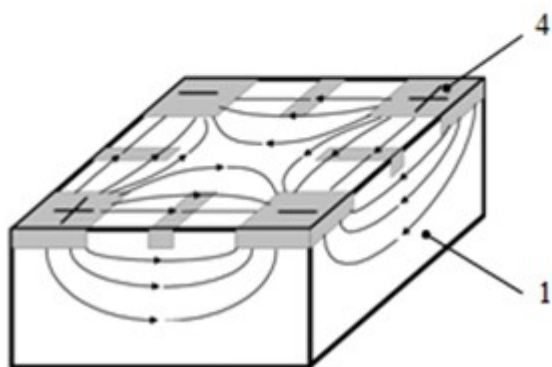
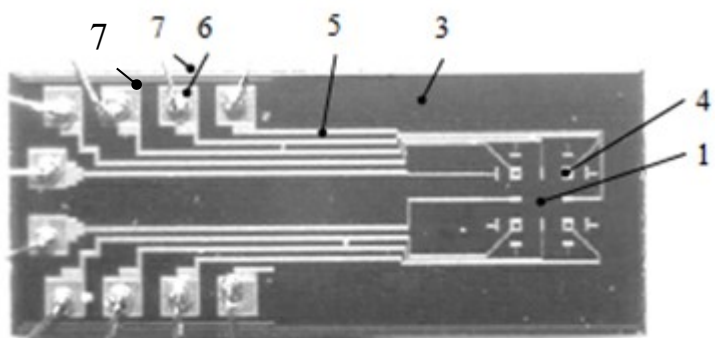
Obr. 4a



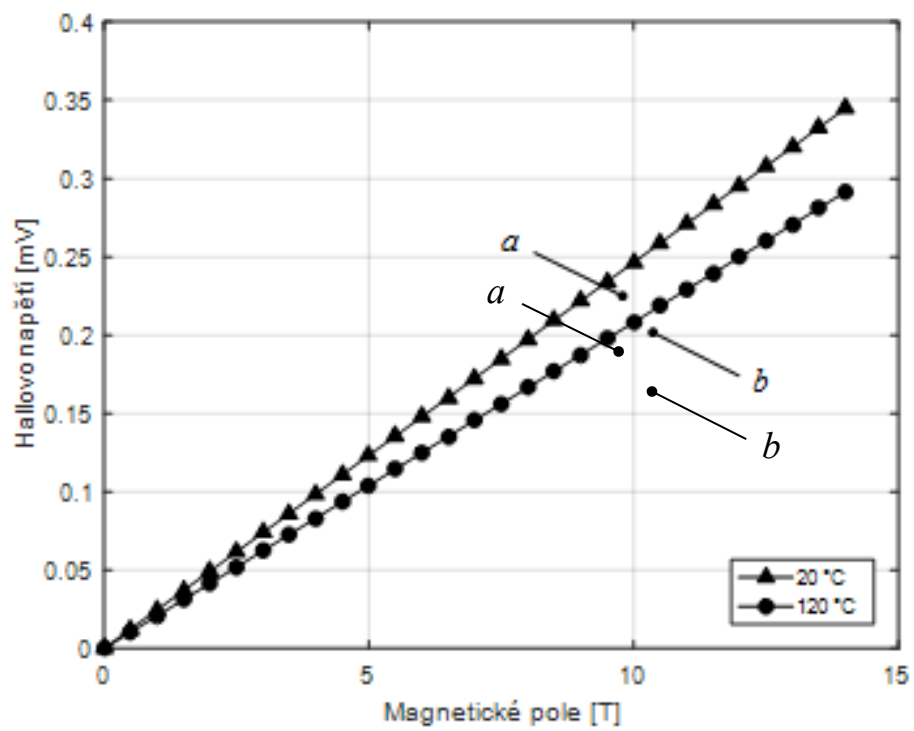
Obr. 4b



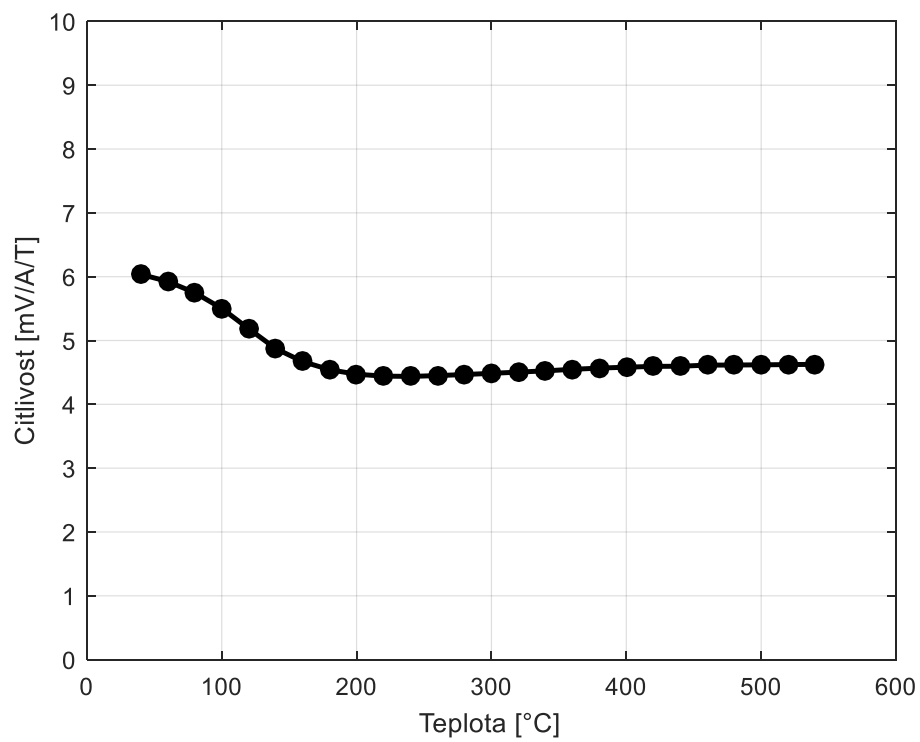
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8