

Werk

Titel: Physica

Jahr: 1958

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?312899653_0002|log4

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Polovodičový odporový manometer

V našej práci sme zisťovali vlastnosti manometra používajúceho polovodič urdox v tvare trubičky P s tenkou stenou, vyhrievaný volfrámovou špirálkou W. Schéma manometra je na obr. 1.

Bolo by možno použiť aj tenkú obdĺžnikovú polovodičovú vrstvu obtočenú volfrámovou špirálou. Ba dokonca táto úprava by mala určité výhody oproti trubičke, najmä v pomerne ľahkej príprave požadovanej tenkej polovodičovej vrstvy.

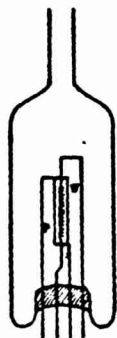
Trubička musí byť tenkostenná, aby tepelná zotrvačnosť bola čo najmenšia. To znamená, že zmena odporu polovodičovej trubičky musí nasledovať ihneď po zmene tlaku. Tejto požiadavke vyhovuje celkom dobre trubička o hrúbke steny 0,1 mm. V prípade hrubšej steny sa prejaví zotrvačnosť, ktorá vzrastá s hrúbkou steny. Z tohto dôvodu by bolo výhodnejšie použiť obdĺžnikové vrstvy, ktoré sa dajú pomerne ľahko pripraviť s hrúbkou vrstvy aj pod 0,1 mm.

Použitím polovodičovej trubičky namiesto kovového vlákna sa zvýši citlivosť manometra, a to jednak v dôsledku väčšieho teplotného odporového koeficientu a jednak zväčšením plochy zohrievaného telesa. Trubička má ďaleko väčší povrch než tenké kovové vlákno, a tak odvedená energia z trubičky je väčšia. Pre energiu odvedenú z povrchu zohrievaného telesa o ploche A platí vzťah [7]

$$E = \frac{4}{3} \frac{\gamma}{2 - \gamma} \frac{1,468(\kappa + 1)}{M(\kappa - 1)} p \sqrt{\frac{273,2}{T_0}} (T - T_0) A \quad (1)$$

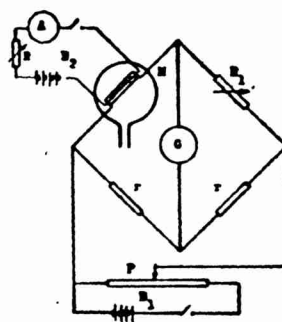
kde E je odvedená energia, γ akomodačný koeficient, κ pomer špecifických tepiel, M molekulová hmotnosť, p tlak plynu, T a T_0 teploty zohrievaného telesa a okolia.

Manometer v našom prevedení má okrem polovodičovej trubičky, ktorá sama osebe by postačila na meranie tlaku, umiestnenú v osi trubičky ešte zohrievaciu volfrámovú špirálku W s odporom za atmosférického tlaku asi 40Ω , ktorá vlastne slúži na vhodné nastavenie odporu polovodiča, alebo lepšie povedané, na nastavenie vhodnej pracovnej oblasti a ako uvidíme v ďalšom, aj podstatne zvyšuje citlivosť manometra.



Obr. 1

Schéma polovodičového manometra:
P polovodičová trubička, W zohrievajúca
volfrámová špirálka

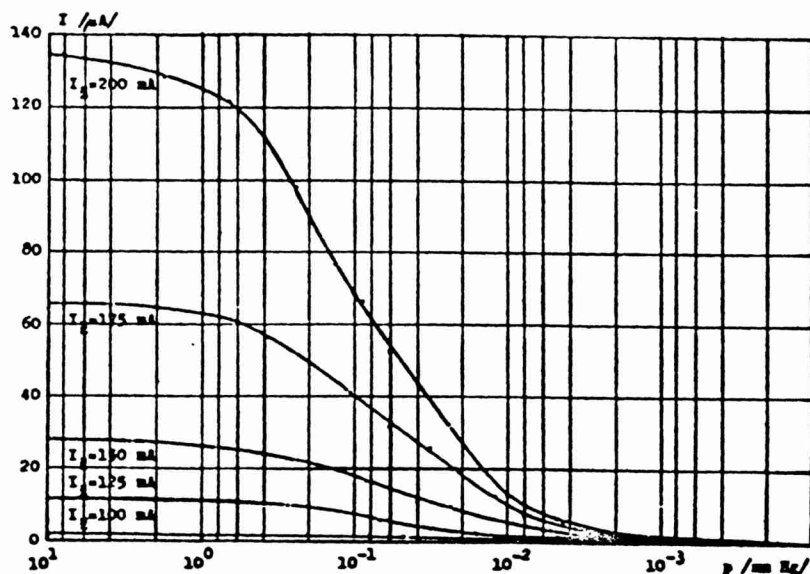


Obr. 2

Môstkové zapojenie manometra: M ma-
nometer, r odpor, R_1 regulačný odpor,
G mikroampérmetr, P potenciometer,
 B_1 a B_2 batérie, R regulačný odpor a
A ampérmetr

Vlastnosti manometra sme zisťovali v mostkovom zapojení podľa obr. 2, kde jedno rameno tvoril manometr M, druhé rameno regulačný odpor R_1 a zvyšujúce dve ramená rovnaké odpory r . Mostok bol napájaný z batérie B_1 a napätie E_1 bolo možno regulovať pomocou potenciometra P.

Mostok možno vyvážiť pri atmosférickom tlaku, alebo pri veľmi nízkom tlaku (pod 10^{-3} mm Hg). Aby bolo možno presnejšie merať nízke tlaky, volili sme vyváženie mostku pri vysokom vákuu.



Obr. 3

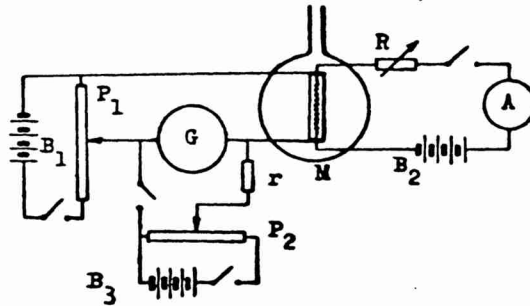
Kalibračné krivky manometra v mostkovom zapojení pre rôzny
zohrievací prúd a konštantné napätie $E_1 = 6$ V

Manometer sme kalibrovali na vákuovom zariadení s rotačnou olejovou vývevou a difúznou parafínovou vývevou. Tlak sme merali pomocou Mac Leodovho ortuťového manometra. Polovodičový manometer bol oddelený od ostatných častí vákuového zariadenia vymrazovačkou s tekutým vzduchom na vymrazovanie kondenzovateľných plynov a pár, najmä pri nižších tlakoch (pod 10^{-2} mm Hg), lebo Mac Leodov manometer tlak týchto plynov a pár nemeria.

Manometer v mostkovom zapojení sme kalibrovali pri konštantnom napätí $E_1 = 6$ V a pri rôznom zohrievaní. Polovodičová trubička bola zohrievaná batériou B_2 o napätí $E_2 = 24$ V.

Kalibračné krivky sme zostrojili pri prúdoch 100, 125, 150, 175, 200 mA, a ako vidieť z obr. 3, polovodičový manometer v mostkovom zapojení možno používať na meranie tlaku rovnako ako odporové manometre s kovovým vláknom. Ba ak uvažíme, že zvýšením napätia E_1 možno sa dostať do ešte výhodnejšej oblasti, majú dokonca polovodičové manometre i v tomto zapojení určité prednosti. Oblasť meraného tlaku sa rozšíri a možno merať tlaky nad 1 mm Hg a aj pod 10^{-3} mm Hg.

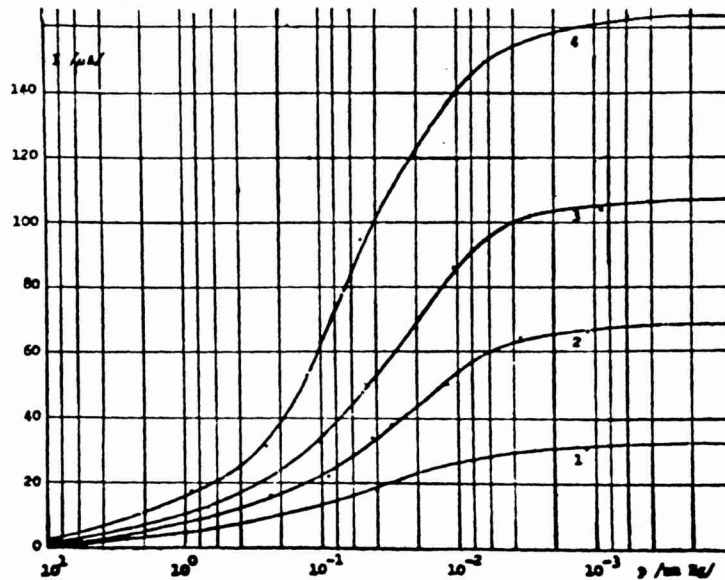
Hlavná výhoda nášho manometra však spočíva v tom, že nie je potrebné mŕstkové zapojenie na presné meranie zmeny odporu polovodičovej trubičky, ale že postačí len meranie prúdu, ktorý prechádza polovodičom, a tento môže byť mierou tlaku práve v dôsledku veľkej zmeny odporu s tlakom.



Obr. 4

Zapojenie manometra s kompenzáciou: M manometer, B_1 , B_2 a B_3 batérie, P_1 a P_2 potenciometre, r odpor, R regulačný odpor, G mikroampérmetr, A ampérmetr

Zapojenie manometra vidieť na obr. 4; na konce polovodičovej trubičky sa pripojí napätie E_1 a prúd prechádzajúci polovodičom sa meria mikroampérmetrom G . Pretože už pri atmosferickom tlaku prechádza prístrojom G určitý prúd, výhodné je kompenzovať tento prúd pomocou zariadenia, ktoré vidieť na obr. 4.



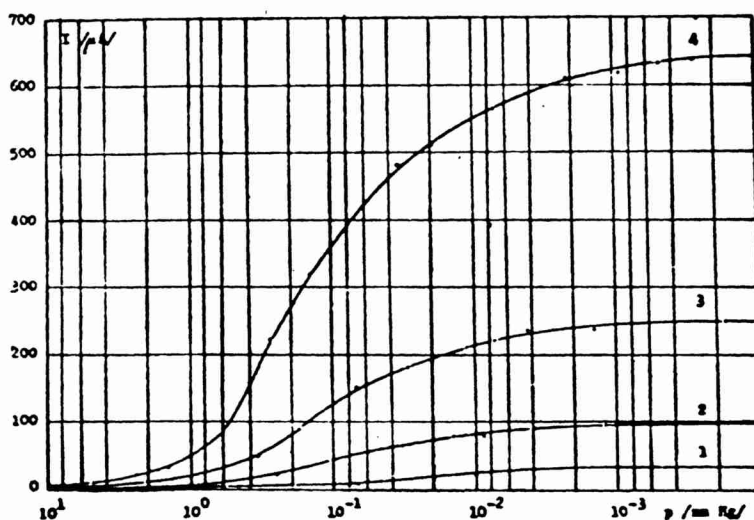
Obr. 5

Kalibračné krivky manometra s kompenzáciou pri konštantnom zohrievaní $E_1 = 24$ V, $I_2 = 150$ mA a rôznom napätí E_1

Manometer sme kalibrovali na tej istej vákuovej aparatúre ako v prípade mŕstkového zapojenia.

Kalibračné krivky manometra pri zohrievaní $E_2 = 24 \text{ V}$, $I_2 = 150 \text{ mA}$ a rôznom napätí E_1 sú na obr. 5. Krivka 1 pre $E_1 = 5 \text{ V}$, 2 pre $E_1 = 10 \text{ V}$, 3 pre $E_1 = 15 \text{ V}$, 4 pre $E_1 = 20 \text{ V}$.

Obr. 6 znázorňuje kalibračné krivky pri konštantnom napätí $E_1 = 6 \text{ V}$ a pre rôzne zohrievacie prúdy: krivka 1 pre $I_2 = 150 \text{ mA}$, 2 pre $I_2 = 175 \text{ mA}$, 3 pre $I_2 = 200 \text{ mA}$, 4 pre $I_2 = 225 \text{ mA}$.



Obr. 6

Kalibračné krivky manometra s kompenzáciou pri konštantnom napätí $E_1 = 6 \text{ V}$ a rôznom zohrievaní

Z uvedených kalibračných kriviek vidieť, že tento manometer v pomerne jednoduchom zapojení — priame meranie prúdu s kompenzáciou — dovoľuje merať tlaky v oblasti 10 mm Hg až do 10^{-4} mm Hg s dostatočne vysokou citlivosťou najmä v tlakovej oblasti $1 \text{ mm} - 10^{-2} \text{ mm Hg}$.

Zvýšenie citlivosti polovodičového manometra pomocným zohrievaním

Porovnanie kalibračných kriviek manometra na obr. 5 a 6 ukazuje, že citlivosť manometra sa podstatne zvyšuje pomocným zohrievaním. Možno si to vysvetliť nasledujúcim spôsobom: Pri klesajúcom tlaku v dôsledku nedostatočného ochladzovania stúpa teplota polovodiča a jeho odpor klesá podľa exponenciálneho zákona, a tým stúpa prúd, ktorý ním prechádza. Ak však polovodič súčasne ešte vyhrievame volfrámovou špirálkou, ktorej teplota s klesajúcim tlakom tiež stúpa, odpor vzrastá a klesá prúd prechádzajúci volfrámovou špirálkou. Táto odovzdáva určité množstvo svojej energie polovodičovej trubičke, ktorá zvyšuje jej teplotu, čím odpor polovodiča ešte viac klesne a podstatne vzrastie prúd, ktorý ním prechádza.

Tento efekt vystúpi pochopiteľne len vtedy, keď volfrámová špirálka má vyššiu teplotu než polovodičová trubička, lebo len v tom prípade sa prenáša tepelná energia z volfrámovej špirálky na polovodič.

Polovodičová trubička pri prechádzaní prúdu I_1 za tlaku p má teplotu T_1 a jej odpor je

$$R_1 = Ae^{\frac{B}{T_1}} \quad (2)$$

kde konštanta B vyjadruje závislosť odporu od teploty a závisí od použitého materiálu a jeho tepelného spracovania. Čím má B vyššiu hodnotu, tým je polovodič citlivejší na teplotné zmeny a výhodnejší na meranie tlaku. Konštantu B možno určiť zo vzťahu

$$B = -\alpha T_1^2 = -\frac{T_1^2}{R_{01}} \frac{dR_1}{dT_1} \quad (3)$$

kde R_{01} je odpor pri 0°C a $\frac{dR_1}{dT_1}$, ktorý dostaneme derivovaním (2), je zmena odporu s teplotou. Konštanta A je určená vzťahom

$$A = R_{01} e^{-\frac{B}{T_0}} \quad (4)$$

kde T_0 je 0°C a závisí od geometrických rozmerov a kvality materiálu polovodiča.

Teplotu T_1 polovodičovej trubičky možno vyjadriť

$$T_1 = \frac{B}{\lg \frac{R_1}{A}} \quad (5)$$

Teplotu volfrámového vlákna možno určiť zo vzťahu

$$R_2 = R_0(1 + \alpha T_2)$$

z ktorého pre T_2 vyplýva

$$T_2 = \frac{R_2 - R_0}{\alpha R_0} \quad (6)$$

Ak $T_2 > T_1$, dochádza k prenášanju energie z volfrámovej špirálky na polovodičovú trubičku. Táto odvedená energia je daná vzťahom podobným (1). V našom prípade je situácia komplikovanejšia, lebo prenesená energia je daná prenesenou energiou z volfrámovej špirálky na polovodič, zmenšenou o prenesenú energiu z polovodiča na volfrámovú špirálku. Ako vidieť zo vzťahu (1), sú tieto úmerné povrchu zohrievaného telesa.

Prenesená energia zvyšuje teplotu polovodiča z T_1 na T , pre ktorú platí vzťah

$$T = T_1 + \Delta T_1 = T_1 + \lambda T_2 \quad (7)$$

kde λ závisí od množstva prenesenej energie a teda podľa (1) závisí od rozdielu teplôt $T_2 - T_1$, tlaku p , od veľkosti a kvality povrchov špirálky a polovodiča a tiež od druhu plynu.

Na základe tohto možno vyjadriť prúd I' , ktorý prechádza polovodičom pri zohrievaní za tlaku p ,

$$I' = \frac{E_1}{A} e^{-\frac{1}{\ln \frac{R_1}{A} + \frac{\lambda}{B} \frac{R_2 - R_0}{\alpha R_0}}} \quad (8)$$

Alebo ak R_1 a R_2 vyjadríme pomocou E_1 a I_1 , respektíve E_2 a I_2 , prejde výraz pre I' do

$$I' = \frac{E_1}{A} e^{-\frac{1}{\ln \frac{E_1}{AI_1} + \frac{\lambda}{B} \frac{E_2 - R_0 I_2}{\alpha R_0 I_2}}} \quad (9)$$

Po úprave tohto výrazu a kompenzácii prúdu I^* , ktorý prechádza polovodičom pri atmosferickom tlaku, možno písať

$$I = I' - I^* = \frac{E_1}{A} e^{-\frac{\ln \frac{E_1}{AI_1}}{1 + \frac{\lambda}{B} \frac{E_2 - R_0 I_2}{\alpha R_0 I_2} \ln \frac{E_1}{AI_1}}} - I^* \quad (10)$$

kde I^* možno vypočítať z (9), ak dosadíme príslušné hodnoty za atmosferického tlaku.

Zo vzťahu (9) vidieť, že pre $T_2 = T_1$ prechádza rovnica (9) do

$$I' = \frac{E_1}{A} e^{-\ln \frac{E_1}{AI_1}} = \frac{E_1}{A} e^{-\frac{B}{T_1}}$$

lebo λ je úmerné rozdielu teplôt $T_2 - T_1$, rovná sa teda nule.

Pri klesajúcom tlaku p vzrastá prúd I_1 a klesá I_2 , a tak prvý člen v menovateli exponentu rov. (9) vzrastá, ale rovnako vzrastá aj druhý člen

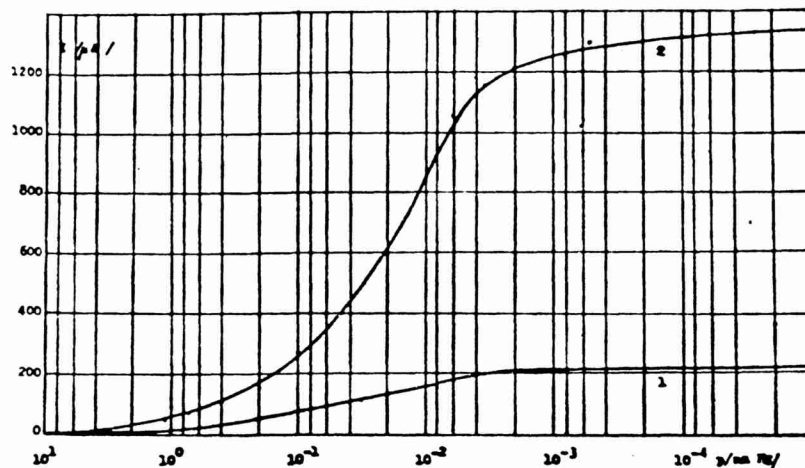
$$\frac{\lambda}{B} \frac{E_2 - R_0 I_2}{\alpha R_0 I_2}$$

práve v dôsledku klesania I_2 .

Ako vidieť zo vzťahu (9), tieto dva efekty sa sčítajú a prúd I' vzrastá rýchlejšie než bez pomocného zohrievania.

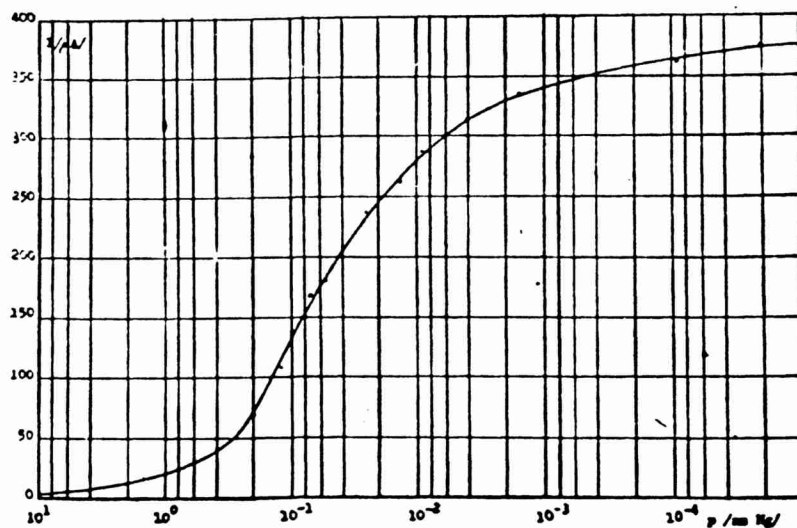
Obr. 7 ukazuje, aký vplyv má na citlivosť manometra pomocné zohrievanie. Kalibračná krivka 1 bola zostrojená pri $E_1 = 42$ V a bez pomocného zohrievania. Prúd za atmosferického tlaku $I_1^* = 400 \mu\text{A}$ bol kompenzovaný. Pri tlaku 10^{-4} mm Hg dosahoval prúd $220 \mu\text{A}$. Kalibračná krivka 2 bola zostrojená pri pomocnom zohrievaní $I_2 = 150$ mA a $E_2 = 24$ V. Aby sme dosiahli za atmosferického tlaku rovnakú teplotu polovodičovej trubičky ako

v prípade kalibračnej krivky 1. a tým ukázali zvýšenú citlivosť manometra s pomocným zohrievaním, znížili sme I^a z $705 \mu A$ na $400 \mu A$, t. j. na I_1^a , a to znížením napätia E_1 z $42 V$ na $29,7 V$. Pri tlaku 10^{-4} mm Hg nadobudol prúd I hodnotu $1300 \mu A$. Hoci v dôsledku zníženia napätia E_1 sme uvažovali pre nás najnepriaznivejší prípad, predsa bola citlivosť manometra s pomocným zohrievaním asi 6-krát vyššia než manometra bez zohrievania.



Obr. 7

Kalibračné krivky manometra s pomocným zohrievaním a bez pomocného zohrievania



Obr. 8

Kalibračná krivka manometra s pomocným zohrievaním

Na obr. 8 je uvedená charakteristická kalibračná krivka manometra s polovodičom využívajúceho pomocné zohrievanie. Manometer v tomto prevedení dáva možnosť merať tlaky od 10 mm Hg až pod 10^{-4} mm Hg. Presnosť merania tlaku pod 10^{-3} mm Hg by bolo možno zvýšiť ďalšou kompenzáciou prúdu pri tlaku 10^{-3} mm Hg.

Záver

V práci sme poukázali na prednosti polovodičových odporových manometrov, na ich podstatne vyššiu citlivosť v porovnaní s manometrami, ktoré používajú kovové vlákna. Polovodičové odporové manometre umožňujú merať tlak jednoduchšie a to meraním prechádzajúceho prúdu polovodičom s vhodnou kompenzáciou prúdu prechádzajúceho polovodičom za atmosférického tlaku.

Ďalej sme ukázali, že citlivosť manometra sa podstatne zvyšuje pomocným zohrievaním polovodiča, čo má veľký význam pre praktické použitie. Manometer s polovodičom a s pomocným zohrievaním možno použiť ako hľadač netesností. Citlivosť takéhoto hľadača netesností, v porovnaní s hľadačmi netesností používajúcich obyčajné Piraniho manometre, podstatne by sa zvýšila.

Literatúra

- [1] Cuykendall T. R., Rev. Sci. Instr. 6, 371 (1935).
- [2] Weise E., Z. tech. Physik 18, 467 (1937); 24, 66 (1943).
- [3] Weise E., Chemie 56, 29 (1943).
- [4] Dushman S., Scientific foundations of vacuum technique, 1949, str. 327.
- [5] Jaeckel R., Kleinste Drucke, ihre Messung und Erzeugung, 1950, str. 51.
- [6] Laporte H., Vakuummessungen, 1955, str. 49.
- [7] Zobač L., Základy vákuové techniky, 1954, str. 136.

Do redakcie dodané 19. VI. 1956.

Полупроводниковый манометр сопротивления с повышенной чувствительностью

Шт. Вейс

(Резюме)

В этой работе указывается на преимущества полупроводниковых манометров сопротивления. Приводится одна конструкция такого манометра, которого элемент имеет форму полупроводниковой трубочки подогреваемой вольфрамовой проволокой находящейся в ее оси. В следствии повышенной чувствительности хватит измерять только ток текущий полупроводником с компенсацией тока при атмосферическом давлении. Чувствительность манометра с подогревом в худшем случае шесть раз больше чем у манометра без подогрева.

Есть возможность практического использования такого манометра как теческатель.

Semi-conducting resistance gauge with increased sensitivity

St. Veis

(Abstract)

In this paper the high-grade properties of semi-conducting resistance gauges are investigated. Only one construction of this kind of gauges is described, the element of which is formed a semi-conducting tube heated by means of a tungsten spiral located inside of the tube. On account of the increased sensitivity measuring of the current passing through the semi-conductor and current compensation at atmospheric pressure gives satisfactory results. The sensitivity of the gauge is at worst six times higher as compared unheated gauges.

Possibilities for the application of gauges of this type for leak detectors are outlined.

