

Karakteristike peći za pregled termoparova u CMTM laboratoriji

MILOŠ VORKAPIĆ, BOGDAN POPOVIĆ, DRAGAN TANASKOVIĆ,
IHTM-CMTM, Centar za mikroelektronske tehnologije
i monokristale, Beograd

Stručni rad
UDC:621.317.2

U radu je prikazano ispitivanje i analiza karakteristika peći koja se ranije koristila u industriji poluprovodnika. Sa izmenama koje su analizirane u radu, postala je deo opreme za pregled termoparova u laboratoriji CMTM-a. Prikazane su karakteristike izotermnog čeličnog bloka kojim je omogućeno istovremeno merenje više termoparova i da se pri tome dobiju zahtevani parametri temperature u aksijalnom pravcu.

Ključne reči: termopar, peć, izotermni blok, merenje temperature, kontrola merenja

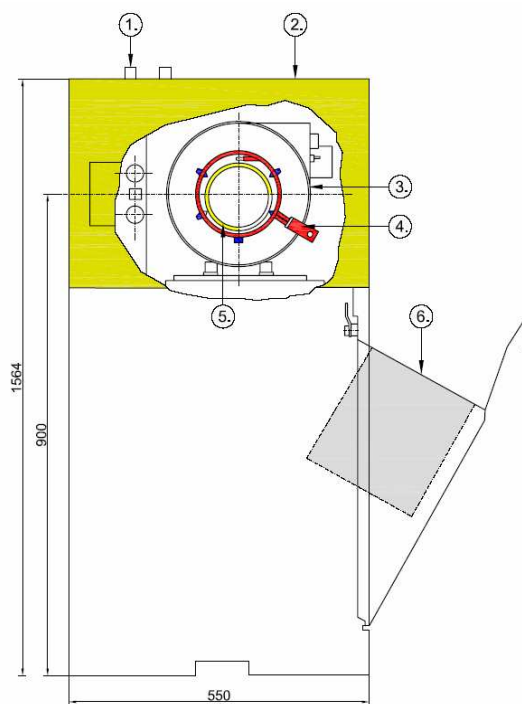
1. UVOD

Osnovna oprema za pregled termoparova [1] u laboratoriji CMTM-a se sastoji iz: 1) radnog etalona jedinice temperature, 2) opreme za reprodukciju referentne temperature od 0°C sa tačnošću od $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ (uključujući i stakleni termometar punjen živom sa odgovarajućom podelom i mernim opsegom za kontrolu), 3) horizontalne električne peći sa termootpornim načinom zagrevanja za reprodukciju merenih temperatura koja sadrži tzv. izotermni grejni blok i 4) uređaja za merenje elektromotorne sile termopara.

2. HORIZONTALNA ELEKTRIČNA PEĆ

U laboratoriji CMTM-a se koristi horizontalna peć [2] sa tri nezavisna grejača unutrašnjeg prečnika od 100 mm. Proizvođač peći je firma „Helmut seier gmbh” iz Nemačke (Tip: Centurion 3-stack 4” Mod 103-444 fabrički broj 1104-D005-1). Na slici 1, dat je šematski prikaz bitnih elemenata konstrukcije peći: 1) sistem za vodeno hlađenje peći, 2) sistem za vazdušno hlađenje peći, 3) grejači u unutrašnjoj cevi, 4) nosač termopara - tip R, 5) kvarcna cev, 6) kontrolna tabla za zadavanje željene temperature.

Prvobitna namena ove peći je bila za potrebe poluprovodničkih tehnologija gde se zahtevao rad u tačno i strogo definisanim temperaturnim režimima. Neznatno je adaptirana za pregled termoparova. Na osnovu fabričkih podataka, temperaturni opseg peći je od 20°C do 1400°C , dok radna tem



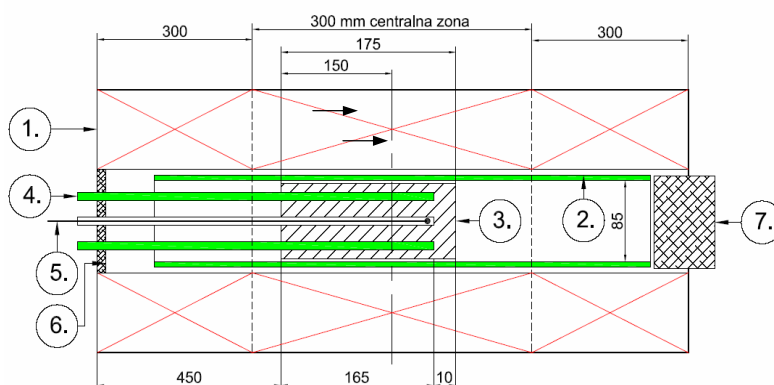
Slika 1 - Poprečni presek peći firme „Helmut seier GmbH”

peratura peći iznosi max. 1300°C . Dužina grejača je po 300 mm, snaga po grejaču je 10,5kW, dok ukupna snaga peći je 31,5kW.

Kontroler temperature radi u tzv. „master-slave” konfiguraciji i unutar peći je smešten termopar tipa R. Skica položaja izotermnog bloka je dat na slici 2. Bitni elementi na skici su označeni brojevima i to: 1) grejači sa „master-slave” kontrolerom temperature, 2) kvarcna cev, 3) izotermni čelični blok, 4) kvarcne cevi za smeštaj mernih uložaka, 5) radni etalon – termopar tip R, 6) termička izolacija od „Promasil 1100”, 7) termička izolacija od „Fiberfrax”.

Adresa autora: Miloš Vorkapić, IHTM-CMTM,
Centar za mikroelektronske tehnologije i monokristale,
Njegoševa 12, 11000 Beograd

Rad primljen: 10. 07. 2009



Slika 2 - Skica položaja izotermnog bloka u peći

3. IZOTERMSKI ČELIČNI BLOK

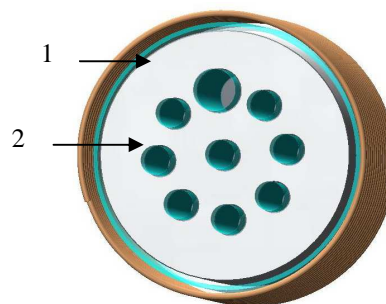
Pri željenoj temperaturi i sa odgovarajućom izolacijom krajeva grejača postiže se da na temperaturi od 800°C i na dužini od 300 mm u centru peći postoji izotermna zona koja se održava sa tačnošću od $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

Ubacivanjem izotermnog bloka [3] unutar cevi od kvarcnog stakla (slike 2 i 3) postignuto je da se tačnost održavanja temperature u izotermnoj zoni peći poboljša na potrebnih 0.8°C na 800°C na dužini koja nije manja od 250 mm. U radijalnom pravcu gradijent temperature i ne postoji, odnosno u potpunosti je eliminisan uvođenjem izotermnog bloka. U grejnoj zoni se nalazi cev od kvarcnog stakla spoljnjeg prečnika 90 mm i unutrašnjeg 82 mm. Ova cev ima vrlo ravnomernu debljinu zidova jer je potrebno da izotermni blok klizi ravnomerno po cevi. Izabrana je cev od kvarcnog stakla jer je kvarc postojan u širokom opsegu radnih temperatura i ima vrlo mali koeficijent širenja. Ova cev istovremeno i izoluje električne grejače od izotermnog bloka koji je napravljen od metala. Slika 3 daje prikaz položaja kvarcnog stakla u odnosu na izotermni blok i grejač peći.

Krajevi grejne cevi i sva mesta gde bi toplota mogla da se gubi zračenjem, se zatvaraju ili „vunim“ keramičkim materijalom pod komercijalnim nazivom „Fiberfrax“ [4] (koji po hemijskom sastavu predstavlja ostakljena aluminosilikatna vlakna i koji je dobar termički izolator i pri kontinualnom dugotrajnom radu na 1430°C) ili tzv. „Promasil 1100“, izolacionim materijalom u vidu ploča koje se lako obrađuju alatom za drvo. „Promasil 1100“ je izolacioni materijal predviđen za rad na visokim temperaturama i po svom sastavu je kalcijum silikat.

Važno je napomenuti da se u izvođenju termičke izolacije ne koristi azbest.

Izotermni blok je izrađen od nerđajućeg, trgovački -vatrootpornog, čelika Č.4580. Blok je dugačak 175 mm i zatvoren je sa jedne strane, dok sa druge strane postoje otvori, dubine 165 mm, koji služe za kalibrisanje i umeravanje termoparova. Težina bloka je oko 5 kg (na slici 5 trodimenzionalan prikaz čeličnog bloka, položaja kvarcnih cevi i grejača).



Slika 3 - Položaj kvarcnog stakla (1) i izotermnog bloka (2)

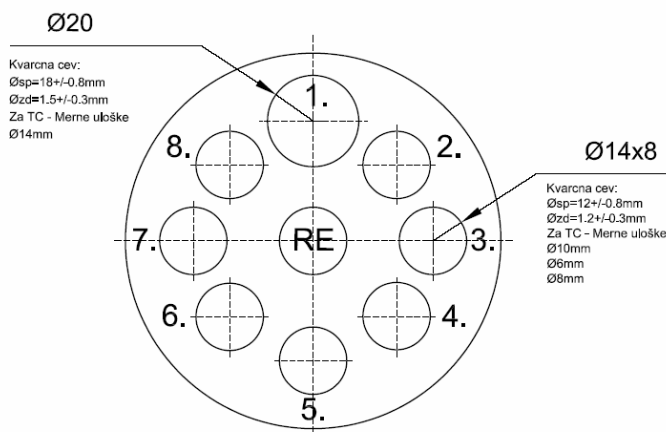
Dimenzije i položaj otvora u izotermnom bloku su prikazane na slici 4, a njegov pravi položaj u tzv. „ravnoj“ zoni peći sa nepromrnljivom temperaturom na slici 2.

Za proveru ispravnosti termoparova, izotermni blokovi se obično prave od nikla jer on ima bolju hemijsku postojanost u atmosferi vazduha na povišenim temperaturama, ima manju specifičnu težinu i bolju termičku provodnost. Blok od nikla zamenjen je blokom od čelika i dobijeni su zahtevani parametri ravne temperaturne zone u peći u aksijalnom pravcu.

Na osnovu važećeg metrološkog uputstva za pregled termoparova, Sl. glasnik 4/98 i 3/2001[5], gde se za reprodukovanje zadatih temperatura koriste horizontalne ili vertikalne cevne peći opsega od 30°C do 1800°C , sa cilindričnim radnim prostorom koji ima dužinu najmanje 500 mm, a prečnik jednak najviše $D=50$ mm, ili je takav da je odnos $L/D \geq 10$):

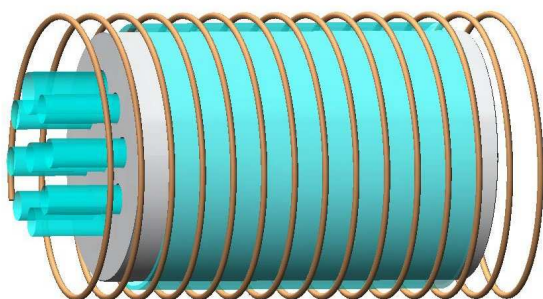
- podužni gradijent ne veći od $0,3^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ na dužini koja nije manja od 25 cm za rad na temperaturama oko 300°C ;

- podužni gradijent ne veći od $0,8^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ na dužini koja nije manja od 25 cm za rad na temperaturama oko 800°C .



Slika 4 - Dimenzije i položaj otvora u izotermnom bloku

Zbog simetričnosti konstrukcije, gradijent temperature u radijalnom pravcu praktično ne postoji, pa se u centru izotermnog bloka nalazi referentni termopar (radni etalon). Kada se proverava ispravnost termoparova (uglavnom mernih uložaka) koji nisu zatvoreni u oblogu, u otvore izotermnog bloka se stavljaju cevi zatvorene sa jednog kraja koje su urađene od kvarcnog stakla. Kvarcne cevi su definisane da njihove dužine dosežu od dna izotermnog bloka do otvorenog kraja grejača. Na ulazu u grejnu zonu, kvarcne cevi su međusobno izolovane navedenim keramičkim materijalima kako bi se na minimum sveli gubici toplote zračenjem (slika 5). Cevi od kvarcnog stakla [6] su visokog stepena čistoće (električno topljeni kvarc) firme "Heraeus" (www.heraeus-quarzglas.com).



Slika 5 - Prikaz položaja kvarcnih cevi u bloku

4. POUZDANOST RADA PEĆI

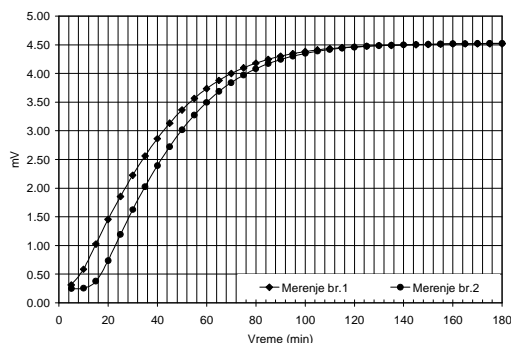
Proces grejanja je vreme potrebno da se izotermni čelični blok ugreje na 500°C . Na slici 6 dat je grafikon koji pokazuje zavisnost temperature od vremena tokom dva merenja.

Proces je pokazao, visoku reproduktivnost zagrevanja, kao i potrebno vreme, u roku od 150 minuta, da se projektovani sistem zagreje i stabilise.

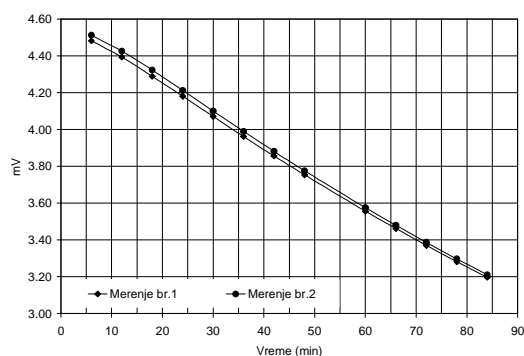
Proces hlađenja čeličnog bloka je mnogo sporiji proces nego njegovo zagrevanje. Sistem je hlađen vazдушnim strujanjem oko čeličnog bloka.

Pošto sistem pokazuje svojstva sistema prvog reda u procesu grejanja, moguće je pretpostaviti isto ponašanje sistema prilikom hlađenja. Sistem takođe treba da zadovolji prethodnu relaciju, i moguće je odrediti brzinu odziva sistema prilikom vazdušnog hlađenja.

Ovaj proces je takođe pokazao reproduktivnost [7]. Slika 7 pokazuje pad temperature nakon 90 minuta hlađenja, temperatura čeličnog bloka je opala za 130°C (na 3.2 mV). Dobijeni rezultati pokazuju da proces grejanja i hlađenja horizontalne peći je u propisanim i dozvoljenim temperaturin opsezima rada, a to daje kvalitetnu osnovu pri merenju termoparova na zadatim temperaturama.



Slika 6 - Zavisnosti temperature tokom procesa grejanja peći na položaju izotermnog bloka



Slika 7 - Dijagram zavisnosti temperature tokom procesa hlađenja bloka

5. DEFINISANJE RAVNE ZONE U BLOKU

Za svaku temperaturnu tačku ispitivanja treba da se odredi greška termopara kao razlika temperatura koju daje ispitivani termoparovi (merni ulošci termopara) i temperature koju daje radni etalon. Utvrđena greška se upoređuje sa dozvoljenom greškom koja je propisana po „Pravilniku o metrološkim uslovima za termoparove” – Direkcija za mere i dragocene metale, [8].

Možemo reći da i pored otvora 1 (slika 4) postoji ravna zona u opsegu od 8 cm od kraja bloka. Pošto je ispitivano vreme, potrebno je prilično da se čelični blok ugrije na 500°C. Bitan zaključak je: „Korisna dužina za kalibraciju termoparova iznosi 8cm”. Prikaz dobijenih rezultata dat je u tabeli 1.

Tabela 1 - Definisavanje ravne zone u izotermnom bloku

Redni broj otvora	Dužina izvlačenja x [cm]	0	4	8
1	u [mV]	4.521	4.530	4.513
2		4.524	4.532	4.525
3		4.522	4.532	4.518
4		4.521	4.531	4.521
5		4.521	4.531	4.520
6		4.520	4.530	4.519
7		4.521	4.530	4.520
8		4.520	4.530	4.521
Sr. vrednost	u [mV]	4.521	4.531	4.519
	T [°C]	504.568	505.432	504.420
Sr. Vrednost bez otvora 1	u [mV]	4.521	4.531	4.5206
	T [°C]	504.571	505.442	504.506

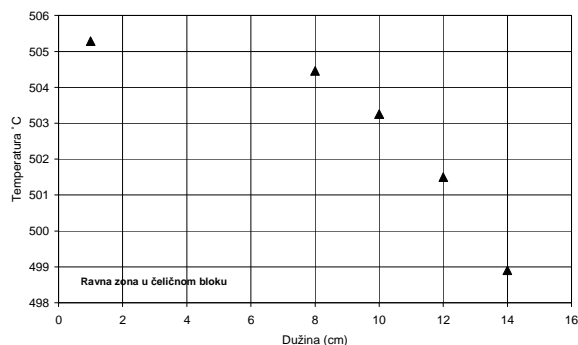
Na slici 8 predstavljena je zavisnost položaja postavljanja izotermnog bloka u funkciji dostizanja željene temperature. Vidi se da je postignuta ravna zona

od 8 cm. Time je definisan konačni položaj izotermnog bloka u odnosu na horizontalnu peć.

6. UMERAVANJE TERMOPAROVA

Naponski izlaz sa termopara je vrlo nizak, reda milivolti, tako da i male nesigurnosti merenja elektromotorne sile unose velike greške u izmerenu temperaturu. Merenja elektromotorne sile moraju da budu izuzetno tačna [9]. Na tako niskim naponskim nivoima merenja su takođe opterećena i šumom, pa je izbor mernog instrumenta od velikog značaja.

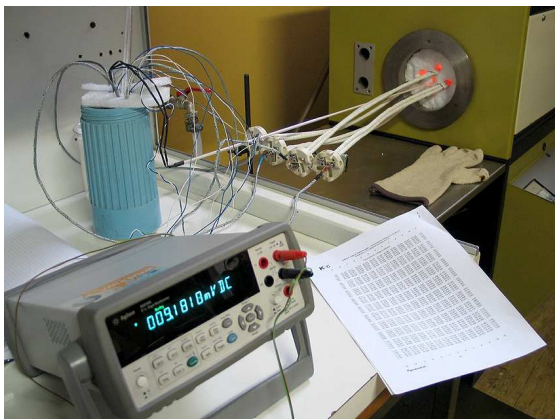
Uređaj koji se koristi u laboratoriji za merenje elektromotorne sile termoparova je „Agilent 34410A 6½ digital multimeter” [10], koji u oblasti merenja jednosmernog napona u opsegu od 100.0000 mV ima deklarisanu tačnost od 0.0030+0.0030 (% očitane vrednosti + % mernog opsega). U ovom delu opisa opreme za pregled termoparova samo ćemo navesti pomoćnu opremu bez navođenja njenih detaljnih karakteristika.



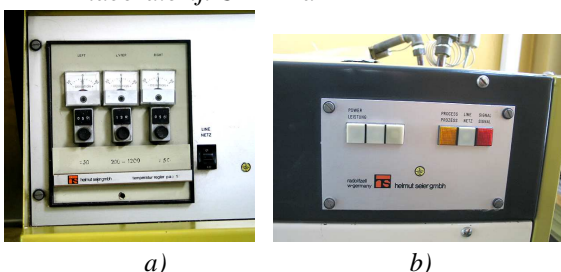
Slika 8 - Optimalni položaj izotermnog bloka u funkciji od temperature

U pomoćnu opremu, osim staklenog termometra punjenog živom za kontrolu referentne temperature od 0°C, spadaju i: višepozicioni dvopolni preklopnik sa minimalnim parazitnim elektromotornim silama; „produžni” kablovi za odgovarajuće tipove termoparova, prema IEC 584; bakarni provodnici punog profila za formiranje referentnog spoja sa termoelektrodama termopara ili sa produžnim kablovima prečnika 0.5 mm („telefonske žice”); uređaj za pravljenje leda; staklena epruveta (ne mora da bude od skupog kvarcnog stakla, već od bilo kog niskotopivog stakla) dužine 250 mm za unošenje referentnih spojeva termoparova itd. U laboratoriji CMTM [11], radni etalon koji se upotrebljava je S ili R tipa, za temperaturni opseg od 300°C do 1200°C.

Njegovo pokazivanje temperature za datu izračunatu srednju vrednost izmerene elektromotorne sile određuje se iz tabela odnosa elektromotorna sila-temperatura za taj etalon. Kompletan i detaljan prikaz opreme za merenje termoparova je dat na slici 9, dok je prikaz kontrolne table sa davačem temperature (a) i kontrolera temperature (b) dat je na slici 10.



Slika 9 - Prikaz opreme za merenje termoparova u laboratoriji CMTM-a



Slika 10 - Prikaz davača i kontrolera temperature horizontalne peći

7. ISPITIVANJE TERMOPARA K-TIPA

Merni uložak [12], K-tipa, pravi se od atestiranih žica za termoparove. Po „Pravilniku o metrološkim uslovima za termoparove”, prvi pregled termopara, radi utvrđivanja greške merenja, se radi na jednoj temperaturi od 900°C.

Pri ispitivanju koriste se „produžni” kablovi za termopar K-tipa, koji se montiraju na keramički blok mernog uložka u skladu sa označenom polarizacijom (na sl. 9 dat je prikaz umeravanja mernih uložaka sa termoelektrodama K tipa). Produžni kablovi [13] su izrađeni od provodnika koji imaju isti nominalni sastav kao što je sastav odgovarajućeg termopara. Krajevi produžnih kablova su spojeni sa bakarnim provodnicima (pun profil) i nalaze se na referentnoj temperaturi od 0°C [14]. Referentna temperatura se održava u kupatilu, tipa Djuarovog suda, smešom leda i vode (za led i za vodu koristi se dejonizovana voda). Referentna temperatura se održava sa minimalnom tačnošću od $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ što se kontroliše temperaturnom sondom uređaja „Testo 735” [15]. Pri pregledu koristi se etalon R-tipa. Etalon mora da ima važeće „Uverenje o etaloniranju” koje izdaje Direkcija za mere i dragocene metale. Istovremeno se ispituju četiri merna uložka sa termoelektrodama K-tipa. Za svaki ispitivani termopar se izračunava aritmetička sredina za četiri očitane vrednosti („Metrološko

uputstvo za pregled termoparova”). Iz srednje vrednosti elektromotorne sile za svaki ispitivani termopar K-tipa, računa se temperatura koju pokazuje dati termopar koristeći standardnu tabelu zavisnosti elektromotorne sile za K-tip termopara. Za K-tip termopara, u opsegu od 500°C do 1372°C, i za opseg elektromotorne sile od 20,644 mV do 54,886 mV, standardna relacija koja povezuje temperaturu i elektromotornu silu je u vidu polinoma šestog stepena sledećeg oblika:

$$t = -1.318058 \cdot 10^2 + 4.83022 \cdot 10^1 \cdot V - 1.646031 \cdot V^2 + 5.464731 \cdot 10^{-2} \cdot V^3 - 9.650715 \cdot 10^{-4} \cdot V^4 + 8.802193 \cdot 10^{-6} \cdot V^5 - 3.110810 \cdot 10^{-8} \cdot V^6 \quad (1)$$

gde je t temperatura u $^{\circ}\text{C}$, a V elektromotorna sila termopara izražena u mV.

Prava vrednost temperature (t_E) se određuje iz pokazivanja radnog etalona. Iz srednje vrednosti elektromotorne sile za radni etalon se određuje vrednost temperature. Za korišćeni etalon R-tipa temperatura se računa prema tablicama iz uverenja o etaloniranju.

Za temperaturni interval od 780°C do 900°C ova zavisnost se iskazuje sledećim polinomom:

$$t = -65.249 + 154.93 \cdot V - 8.0656 \cdot V^2 + 0.2874 \cdot V^3 \quad (2)$$

gde je t temperatura izražena u $^{\circ}\text{C}$, a V elektromotorna sila izražena u mV.

Greška ispitivanog termopara [16] se određuje za zadatu temperaturu kao razlika temperature koju pokazuje ispitivani termopar (t) i temperature koju daje radni etalon (t_E):

$$\Delta t = t - t_E \quad (3)$$

Prema grešci merenja temperature (Δt), ispitivani termopar dobija klasu tačnosti (videti tabelu 2) u skladu sa „Metrološkim pravilnikom za termoparove” („Službeni list SFRJ”, br. 34/96 i „Službeni list SRJ”, br. 40/97, izmene MUS samo čl. 11).

Tabela 2 – Definisanje klase tačnosti na osnovu greške merenja

K-tip termopar	Klasa tačnosti 1	Klasa tačnosti 2	Klasa tačnosti 3
Opseg temperatura	od + 375 $^{\circ}\text{C}$ do + 1000 $^{\circ}\text{C}$	od + 333 $^{\circ}\text{C}$ do + 1200 $^{\circ}\text{C}$	od - 200 $^{\circ}\text{C}$ do - 67 $^{\circ}\text{C}$
Dozvoljena greška	$\pm 0.004 t $	$\pm 0.0075 t $	$\pm 0.015 t $

7. PREDNOSTI I NEDOSTACI PEĆI

Peći [13] su toplotni izvori koji se uglavnom upotrebljavaju u opsegu viših temperatura, a služe za pregled i etaloniranje etalonskih termoparova svih nivoa. U njima se uglavnom vrše ispitivanja putem poređenja.

Glavne prednosti upotrebe peći sastoje se u sledećem:

- nema prljavih fluida;
- širok temperaturni opseg;
- značajna homogenost temperaturnog polja.
- Glavni nedostaci u upotrebi peći su:
- nefleksibilnost u pogledu veličine i oblika ispitivanih termometara;
- mogu da se ispituju uglavnom samo duži termometri;
- nefleksibilnost u pogledu broja termometara koji se mogu istovremeno pregledati, odnosno etalonirati.

Možemo konstatovati [17] da prvi pregled ili kontrola termopara obuhvata:

- spoljašnji pregled;
- ispitivanje greške merenja termopara.

Spoljašnjim pregledom termopara utvrđuje se [18]:

- da merni spoj termopara nije oštećen ili zaprljan;
- da termoelektrode zadovoljavaju propisane uslove u pogledu prečnika;
- da je električna izolacija propisno izvedena;
- da spoljašnja armatura zaštitnog omotača ili glave nije oštećena;
- da termoelektrode nemaju drugih zavarenih mesta osim mernog spoja;
- da su natpisi i oznake termopara u skladu sa propisanim metrološkim uslovima.

Za kvalitetno ispitivanje termopara [19], potrebno je da se obezbedi dobar toplotni kontakt između ispitivanog termopara, radnog etalona i radnog medijuma. Radni etalon mora da ima sopstveni zaštitni omotač, a termoelektrode ispitivanog termopara moraju da imaju svoj posebni zaštitni omotač.

Primena termoparova je od izuzetnog značaja za rad turbina [21]. Većina turbina je robustna tako da termoparovi moraju da budu pouzdani u radu, tako da de-kalibracija termoparova predstavlja problem operaterima. U tom slučaju javljaju se milionski gubici svake godine, a razlog se svakako ogleda u nekvalitetu opreme i kontroli gotovog proizvoda. Zbog toga se sve više upotrebljava, pored standardnog, MANTEL merni uložak termopara (Mineralno izolovani metalni kabl) koji je otporan na vibracije i vlagu. Manteli su stabilniji 3 do 4 puta u odnosu na standardne merne uloške.

7. ZAKLJUČAK

Prikazan sistem omogućava ispitivanje i umeravanje termoparova. Potreba za ispitivanjem i umeravanjem termoparova na kvalitetan i pouzdan način je preduslov za razvoj proizvodnje, proizvoda kao i za

rad u laboratorijama, odnosno svuda gde je potrebno da se mere temperature a naročito u području iznad 400°C. Problematika ispitivanja nije jednostavna jer se nameće pitanje utvrđivanja nehomogenosti novog ili već korišćenog termopara.

S obzirom na postoji veliki broj termoparova koji je u upotrebi u JP EPS, razvoj tehnologije za formiranje termoparova kao i razvoj sistema za ispitivanje i umeravanje termoparova bio bi značajan oslonac istraživačkim i proizvodnim ustanovama koje imaju potrebu za merenjem temperature u definisanom termoparskom području.

JP EPS kao glavni elektroenergetski sistem čine termoelektre i hidroelektre, a broj mernih mesta na kojima se meri i prati temperatura je procentualno najveći [18]: 1) u TE 51.4% i 2) u HE 44.1%. Dakle skoro 50 % merenja čine merenja temperature i taj podatak nam govori koliko je važna kvalitetna tehnologija formiranja toplog kraja termopara kao i njegovo umeravanje kako bi pomenuti sistem besprekorno funkcionisao.

U radu je dat prikaz kompletne analize i sistemskog pristupa upravljanja mernom opremom za pregled termoparova u laboratoriji CMTM-a. Institut raspolaže kvalitetnim stručnim kadrom iz različitih oblasti kao i opremom za merenje temperature.

Sa namerom da se obezbedi neophodna oprema i da se održe kriterijumi kvaliteta i tačnosti merenja, pokazano je stručnom analizom da su izmene na peći za merenje termoparova urađene u saglasnosti sa Metrološkim uputstvom za pregled termoparova.

Na taj način su veliki naponi i prvobitna ideja opravdani, a CMTM dobio još jedan element opreme u laboratoriji za merenje temperature.

Prikazana je i povezanost svih elemenata peći i njihov uticaj na krajnje karakteristike peći kao i metodologija pravilnog merenja termoparova.

LITERATURA

- [1] www.ed.rs/you/pdf/laboratorija_web.htm
- [2] Uputstvo za korišćenje difuzione peći „Helmut seier gmbh”, Nemačka, 1979;
- [3] D. Zvizdić „Umjeravanje i homogenost temperaturnih polja u pećima” - Toplinska obrada metala i inženjerstvo površina Božidar Matijević, (ur.); Zagreb : HDTOIP, 2000. 33-42 (stručni rad);
- [4] www.meris.rs/sr/termoparovi.htm
- [5] Metrološko uputstvo za pregled termoparova, Direkcija za mere i dragocene metale, Glasnik 4/98 i 3/2001;
- [6] www.heraeus-quarzglas.com
- [7] N. Vujanović, „Teorija pouzdanosti tehničkih sistema”, VINC, Beograd, 1990;

- [8] Pravilnik o metrološkim uslovima za termoparove, Direkcija za mere i dragocene metale, Sl. SRJ 34/96;
- [9] B. Popović, M. Vorkapić, M. Marinković, D. Tanasković, „Tehnologija proizvodnje mernih senzora temperature i njihova eksploatacija”, Kongres metrologa 2007., Zlatibor, Septembar 26-28, Zbornik radova, str. 499-509, ISBN 978-86-7401-248-2;
- [10] www.agilent.com
- [11] www.omega.com
- [12] D. Tasić, V. Živković, „Osnovi metrologije”, SZMDM, Beograd, 2000;
- [13] G. Danković: Termoelektrične pojave, SZMDM, int. publ., 1998;
- [14] Platinum, copper and nickel resistance thermometers (for industrial and commercial use), International Recommendation R-84, OIML, 2003.
- [15] www.testo.com
- [16] D. Stanković, „Fizičko tehnička merenja”, Beograd, 1997;
- [17] www.tempmeassystems.com
- [18] JP EPS, Elaborat TE „Nikola Tesla”, Merljive veličine u pogonu, Beograd, 2000;
- [19] Rod White, Making sense of thermocouples, Automation & Control, Measurement, pp. 7, article, February-March 2004.
- [20] Genix, M.; Vairac, P.; Cretin, B., Local temperature surface measurement with intrinsic thermocouple, International Journal of Thermal Sciences, Volume 48, Issue 9, September 2009, pages 1679-1682
- [21] Barberree, Daniel A., The next generation of thermocouples for the turbine engine industry, Proceedings of the 48th International Instrumentation Symposium, Volume 48, San Diego, CA, United states, May 2002 Pages 419-429

SUMMARY

FEATURES FURNACE TO REVIEW TERMOCouples IN CMTM LABORATORY

The paper presents the testing and analysis of the characteristics of furnace which is previously used in the semiconductor industry. With the changes that have been analyzed, has become a part of the equipment to view thermocouples in the laboratory CMTM. Characteristics of steel block, which enable simultaneous measurements of more thermocouples to gain the necessary parameters of temperature in the right direction, are discussed.

Key words: thermocouple, furnace, isothermal block, temperature measurement, measurement control