

SENZOR KRVNEGA TLAKA

**Stojan Šoba, Darko Belavič, Muharem Murčehajić, Silvo Mojstrovič,
Milan Vodopivec**

KLJUČNE BESEDE: senzorji tlaka, piezouporovni senzorji, silicijevi senzorji, debeloplastno vezje, hibridno vezje, debeloplastna tehnologija, merjenje krvnega tlaka, termistorji, silicijev čip.

POVZETEK: Predstavljen je senzor, v medicini namenjen za merjenje krvnega tlaka, ki je izdelan s pomočjo piezouporovnega senzora tlaka in debeloplastnega kompenzacijskega vezja na keramičnem substratu. Osvojeni tehnološki postopek omogoča velikoserijsko izdelavo teh senzorjev.

BLOOD PRESSURE SENSOR

KEY WORDS: pressure sensors, piezoresistive sensors, silicon sensors thick film circuits, hybrid circuits, thick film technology, blood pressure measurement, thermistor, silicon chip.

ABSTRACT: The sensor intended in medicine for blood pressure measure is described. It is made from piezoresistive pressure sensor and thick film compensation network on ceramic substrate. The technology of blood pressure sensor mass production is attained.

1. UVOD

Svetovni trg medicinske opreme zahteva vse večje količine različnih senzorjev, med njimi pa največ senzorjev tlaka. Uvedba piezouporovnega senzora tlaka je omogočila velikoserijsko proizvodnjo senzora, ki je namenjen enkratnemu merjenju krvnega tlaka. Potrebe po tem tipu senzora nenehno rastejo. Hkrati prinaša uvedba te proizvodnje možnost za izdelavo senzorjev tlaka za druge, sorazmerno cenene aplikacije v medicini, avtomobilski industriji in drugod, kjer je potrebno hitro zaznavanje sprememb tlaka.

Najustreznejši način za velikoserijsko proizvodnjo senzora krvnega tlaka s piezouporovnim silicijevim senzorjem tlaka je uporaba debeloplastnega hibridnega vezja, ki je hkrati mehanski substrat za silicijevo tabletko (senzor tlaka) in kompenzacijsko vezje. Uvedba te proizvodnje v Iskri Elementi, TOZD HIPOT, Šentjerneji je zahtevala inovacijske posege v več ključnih fazah tehnološkega postopka, ki smo jih opravili s sodelovanjem razvojne skupine na Institutu Jožef Štefan. Za opravljeno delo je skupina dobila nagrado sklada Borisa Kidriča na področju izumov in izboljšav.

2. OPIS IZDELKA

Senzor krvnega tlaka uporabljamo za invazivno merjenje krvnega tlaka, ki se prek stolpca fiziološke raztopine v katetru prenaša na pretvornik, ki je silicijev piezouporovni senzor tlaka. Ta je izdelan iz silicijevega monokristala, v katerem je s selektivnim jedkanjem izdelana membrana debeline 10 mikrometrov. Na membrani so difundirani upori, ki so povezani v Wheastoneov mostič (slika 1) in orientirani v smeri maksimalnega odziva. Ko se pojavi razlika tlakov na nasprotnih straneh membrane, se ta upogne, kar povzroči spremembo difundiranih uporov (piezouporovni efekt). Za

radi anizotropičnosti tega efekta in različnih razporeditev uporov na membrani, se enemu paru uporov upornost poveča, drugemu pa zmanjša. Na izhodnih sponkah napetostno ali tokovno vzbujenega mostiča dobimo torej neko napetost, ki je skoraj linearno odvisna od relativnega tlaka (krvni tlak/atmosferski tlak).

Omenjena uporaba silicijevega monokristala za merjenje krvnega tlaka zahteva vzbujanje mostiča s konstantno napetostjo, kar prinaša naslednje slabosti:

- * znatno nično napetost (napetost na izhodnih sponkah nevzbujenega mostiča),
- * neenako tlačno občutljivost in
- * znatno temperaturno odvisnost tlačne občutljivosti.

Za odpravo in zmanjšanje teh slabosti silicijev senzor tlaka pritrdimo na debeloplastno uporovno vezje, na katerem s postopki doravnavanja uporov z laserjem uravnotežimo mostič in nastavimo tlačno občutljivost.

Bistvo inovacije, ki izstopa iz standardnih postopkov izdelave hibridnih debeloplastnih vezij, so izvirne rešitve v načrtovanju debeloplastnega vezja, razvoju tehnoloških postopkov izdelave, računalniško podprtem umerjanju in doravnavanju z laserjem. Ključne točke inovacijskih rešitev podajamo v nadaljevanju.

3.1 NAČRTOVANJE DEBELOPLASTNEGA UPOROVNEGA VEZJA

Pri načrtovanju sta uporabljeni dve izvirni rešitvi, ki bistveno prispevata k doseganju visokih izkoristkov pri aktivnem doravnavanju in bondiranju.

a) izvirna oblika debeloplastnih uporov omogoča aktivno doravnavanje z dovolj veliko natančnostjo v širokem obsegu, tako pri doravnavanju uporov R1 in R2 za

nastavitev občutljivosti (slika 2), kot tudi uporov R3 in R4 za uravnoteženje mostiča (slika 3).

b) Izvirna uporaba debelo tiskanega steklenega obroča okoli silicijeve tabletki oblikuje obliko silikonske zaščite in preprečuje razlivanje le-te po substratu.

3.2 PRITRJEVANJE IN BONDIRANJE SILICIJEVE TABLETKE

Silicijev senzor tlaka mora biti pritrjen na keramiko z elastičnim lepilom, ki kompenzira različna temperaturna razteznostna koeficienta keramike in silicija. Tako elastično pritrjena silicijeva tabletki pa je postavila povsem nove zahteve pri postopkih bondiranja. Pri standardnih postopkih bondiranja v polprevodniški industriji je silicijeva tabletki vedno togo pritrjena na podlago, kar je tudi predpogoj za kvaliteten zvar.

Med izvirnimi rešitvami, ki zagotavljajo kvalitetne in zanesljive zveze zlate žice k elektrodam elastično pritrjene silicijeve tabletki, sta ključna naslednja dva postopka:

a) nastavitev optimalnih parametrov bondiranja

Mehanski pritisk kapilare je nastavljen do nivoja vdiranja tabletki v lepilo, čas trajanja ultrazvoka pa na mejo izpodrivanja tabletki izpod kapilare.

b) vakuumsko držanje silicijevih tabletki

Z izdelavo posebne podajalne mizice, ki nosi keramični substrat, s podtlakom pod silicijevimi senzori, smo ustvarili pogoje, ki pri optimalnih nastavitvah parametrov bondiranja zagotavljajo 99 % proizvodni izkoristek bondiranja.

3.3 UMERJANJE

Od načina izvedbe umerjanja za nastavitev občutljivosti in uravnoteženje mostiča je ključno odvisna proizvodnja senzorja krvnega tlaka v večjih količinah. Izvirne rešitve teh dveh postopkov umerjanja nam to danes omogočajo.

3.3.1 Nastavitev občutljivosti

Neenako občutljivost na tlak silicijevega monokristala kompenziramo z dvema zaporedno vezanima uporoma (R1, R2) v umerjevalnem debeloplastnem vezju (slika 2). Postopek meritve napravimo v dveh korakih. Na izvirnem, doma izdelanem merilnem mestu, napravimo funkcionalne meritve na senzoru pri diferencialnem tlaku nič in 40 kPa. Meritve posameznih šarž shranimo na računalniku in jih nato z disketo prenesemo na računalniško vodeni sistem za doravnavanje uporov z laserjem. Ta analizira funkcionalne meritve in se odloči za stopnjo doravnavanja uporov R1 in R2.

3.3.2 Uravnoteženje mostiča

Mostič uravnotežimo z uporoma R3 in R4, ki sta vzporedno z vejami mostiča (slika 3). Uravnoteženje iz-

vedemo z aktivnim doravnavanjem na laserju. Specifičen problem pri postopku uravnoteženja je zelo majhen merjeni signal (velikostni razred okoli 10 mikrovolto) v motečem industrijskem okolju. Postopek aktivnega doravnavanja smo uspešno rešili z izdelavo posebnega ojačevalnika majhnih signalov.

3.4. TEMPERATURNA KOMPENZACIJA

Umerjen senzor ima znaten, vendar ponovljiv temperaturni koeficient tlačne občutljivosti. Za njegovo kompenzacijo smo dodali uporoma R1 in R2 še dva debeloplastna termistorja T1 in T2 (slika 4). To v našem primeru predstavlja izvirno tehnološko rešitev, ki je zahtevala dolgotrajno preizkušanje in ovrednotenje debeloplastnih materialov in ustreznih postopkov tiskanja in žganja. Rezultat tega je tehnološki postopek, ki v proizvodnem okolju zagotavlja izdelavo stabilnih termistorjev z relativno majhnim koeficientom variacije uporovnih vrednosti tako, da večine termistorjev ni potrebno doravnavati.

4. SKLEP

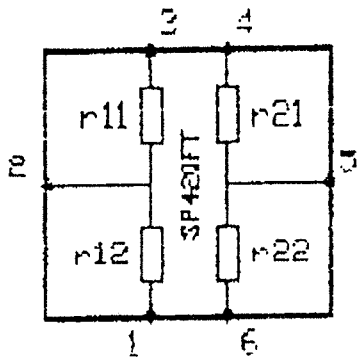
Predstavili smo ključne prispevke inovacije, ki so kot nadgradnja utečene hibridne debeloplastne tehnologije omogočile proizvodnjo senzorja krvnega tlaka. Ta glede na uporabljena proizvodna sredstva kot: avtomatska naprava za ožičenje - bonder, računalniško krmiljeni sistem za doravnavanje uporov z laserjem, računalniško krmiljenih funkcionalnih meritev in ustvarjalno vloženo znanje na vseh stopnjah proizvodnega procesa, sodi med izdelke visoke tehnologije.

Opisane inovacije so rezultat odziva na povpraševanje tujega naročnika medicinske opreme, ki je iskal proizvajalca za senzor krvnega tlaka, ki mora ustrezati predpisanim medicinskim standardom, njegova proizvodna cena pa mora zagotavljati konkurenčnost na svetovnem trgu (Japonska, ZDA, Zahodna Evropa), kjer že ima vpeljana prodajno mrežo.

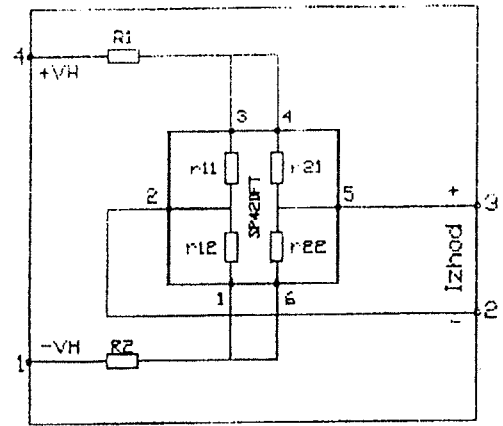
5. USPEHI PRENOSA V PROIZVODNJO

Osvojena je redna serijska proizvodnja senzorja krvnega tlaka. V letu 1987 smo tujemu naročniku dobavljali samo hibridno vezje, v letošnjem letu pa smo pričeli z montažo hibridnega vezja v plastični okrov. Izdelano je zaporedje tehnoloških postopkov, normativi časa in materiala. Pripravljamo se za nadaljnji razvoj vrste drugih senzorjev tlaka, konkurenčnih na svetovnem trgu.

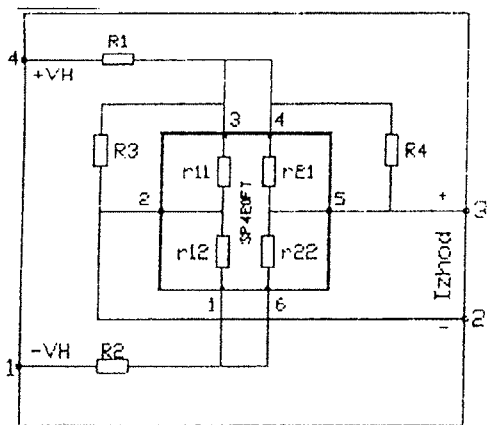
Stojan Šoba, dipl. ing.
Darko Belavič, dipl. ing.
Muharem Murčehajić, ing.
Silvo Mojstrovich, ing.
Milan Vodopivec
vsi ISKRA Elementi,
HIPOT, 68310 Šentjernejski
Prispelo 11.07.1989 Sprejeto: 28.8.1989



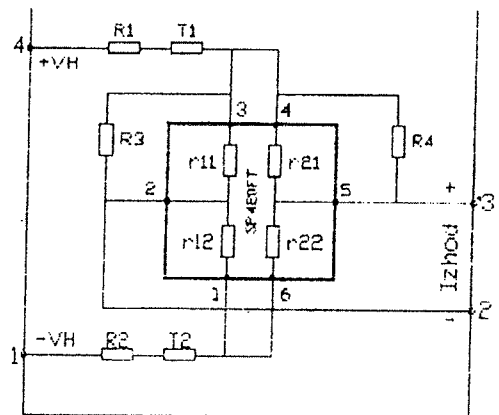
Slika 1: Povezava uporov na silicijevem monokristalu



Slika 2: Senzor tlaka z dodatnima uporoma za nastavitev občutljivosti



Slika 3: Senzor tlaka z dodanima uporoma za uravnoteženje mostiča



Slika 4: Celotno vezje senzorja. Začetne vrednosti uporov: $T1-T2=125\ \Omega$ 20% pri $25\ ^\circ C$ ($B = 1400\ K$) $R1+T1 = R2+T2 =$ od 700 do 1200 ohm pri $25\ ^\circ C$ $R3=R4=$ od 18 K do 23 K Ω