



# **MEMS**

## **komponente**

**Prof. dr Vesna Paunović**

**Prof. dr Dragan Pantić**



# Pasivne MEM strukture

MEM strukture su objekti koji ne pripadaju niti senzorima niti aktuatorima (pasivni elementi sistema). Predstavljaju niz jednostavnih oblika kao što su žlebovi, otvori, mlaznice, rešetke, itd.

## Mlaznice

Mlaznice predstavljaju najjednostavnije strukture za proizvodnju, a realizuju se korišćenjem procesa anizotropnog nagrizanja silicijuma ili laserskog bušenja sloja metala.

Serijski patenata IBM korporacije tokom 1970.-tih god. opisuje proizvodnju silicijumskih mlaznica i njihovu primenu za inkjet štampanje.

Kompanija FORD tokom 1980.-tih eksperimentiše sa silicijumskim mlaznicama za ubrizgavanje goriva u motore automobila.

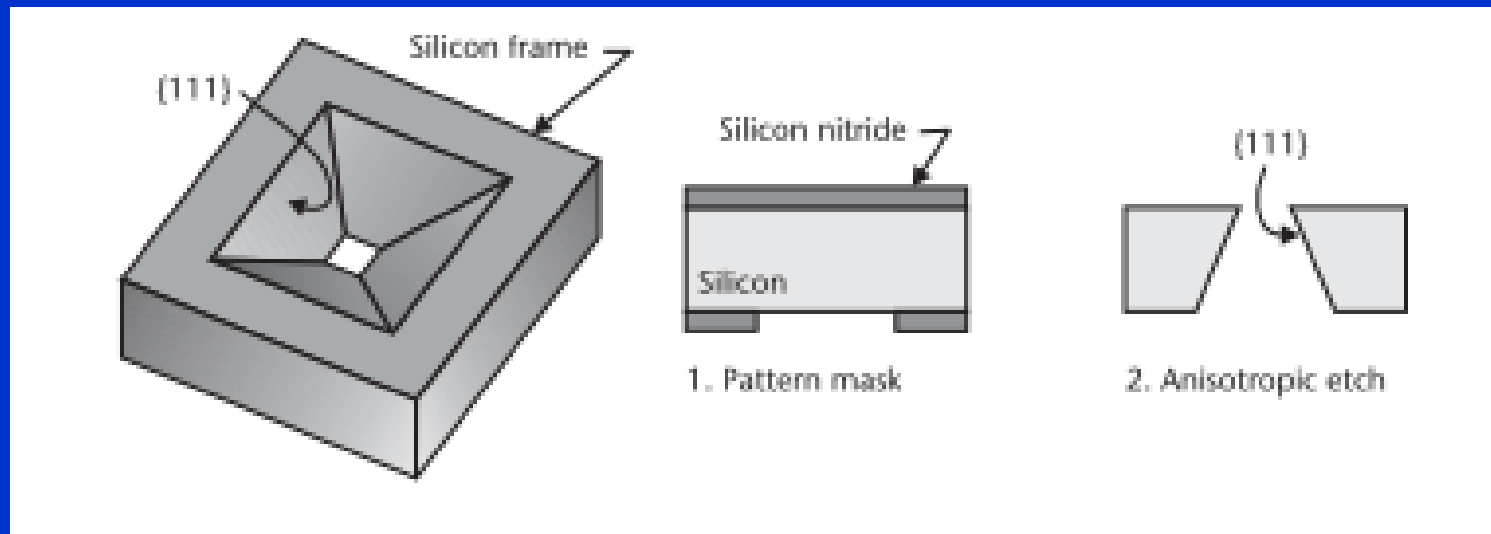
Sa istekom mnogih ključnih patenata mlaznica, silicijumske mlaznice su postale glavno obeležje u dizajnim različitim raspršivača i medicinskih inhalatora.

SprayChip Systems Seabrook, Maryland, komercijalizuje MEM mlaznicu koristeći spoj dve silicijumske pločice sposoban da precizno kontroliše veličinu kapljice.

Kompanija MicroParts GmbH, Dortmund, Nemačka, proizvodi komponentu koja sadrži preciznu plastičnu mlaznicu za inhaliranje astmatičara lekom. Napravljena je korišćenjem procesa galvanizacije i kalupljenja.



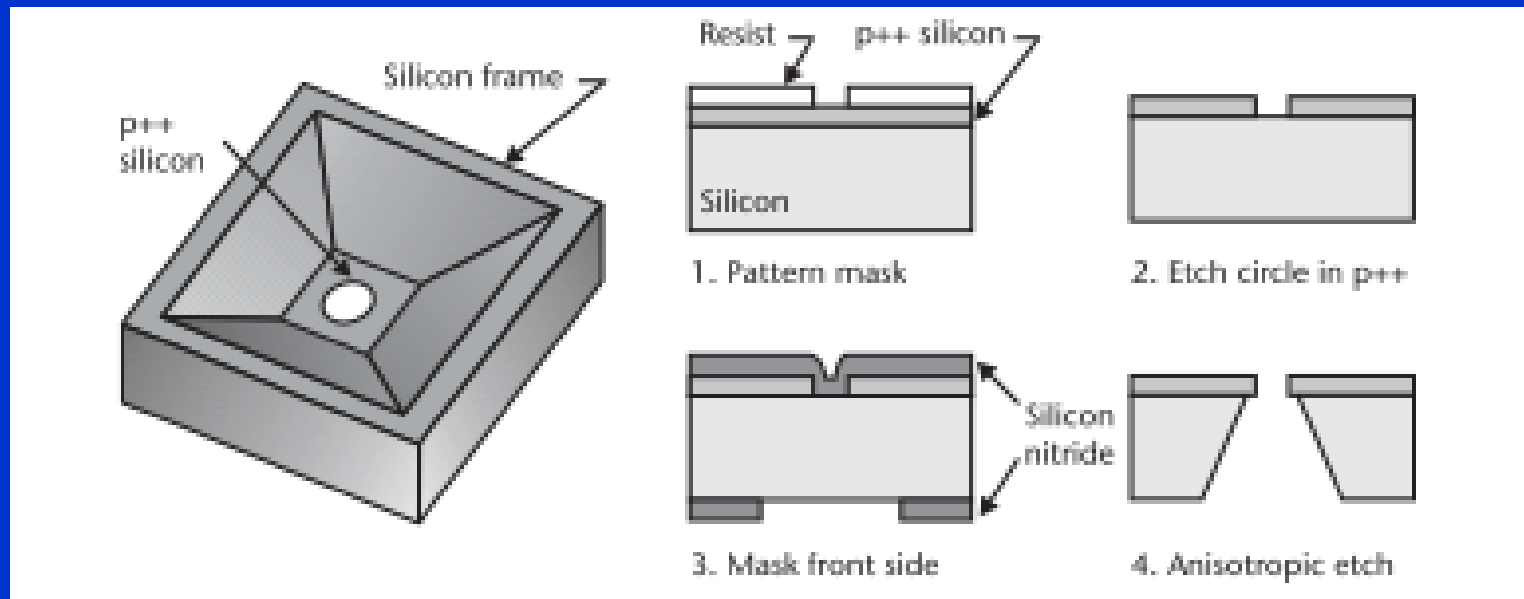
Jednostavna kvadratna silicijumska mlaznica može se lako napraviti depozicijom silicijum nitrida na obe strane pločice i formiranjem kvadrata litografskim postupkom u silicijum nitridu sa donje strane. Anizotropnim nagrivanjem u kalijum hidroksidu (KOH) ili tetra-metil-amonijum hidroksidu (TMAH) formira se prorez kroz Si pločicu definisan [111] ravnima. Veličina otvora u silicijum nitridu sa donje strane mora da bude veća od 71% debljine pločice da bi se nagrivanje odvijalo kroz pločicu



Ilustracija kvadratne mlaznice i odgovarajućih proizvodnih koraka



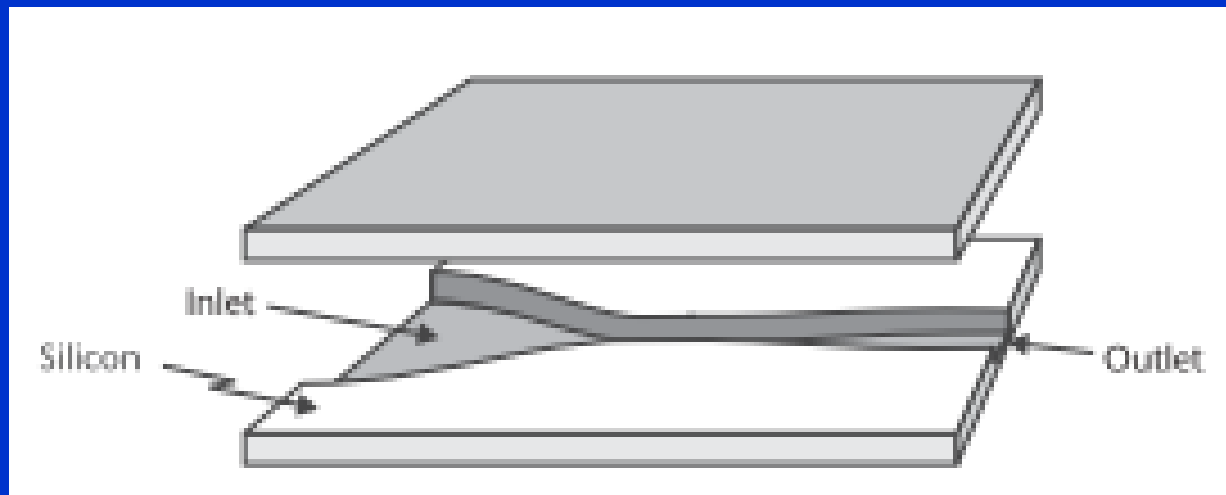
Formiranje mlaznica kružnog ili proizvoljnog oblika uključuje dodatne proizvodne korake. Najčešći pristup je narastanje epitaksijalnog sloja silicijuma p-tipa sa visokom koncentracijom bora ( $>1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) na pločicu. Oblik mlaznice definiše se standardnim litografskim postupkom, a realizuje nagrizanjem sloja Si p-tipa korišćenjem RIE postupka. Zaštitni sloj silicijum nitrida deponuje se sa obe strane pločice i definiše u obliku kvadrata sa zadnje strane. Dvostrana litografija obezbedjuje tačno poravnanje otvora mlaznice i kvadrata na zadnjoj strani. Proizvodnja se završava anizotropnim nagrizanjem silicijuma sa zadnje strane korišćenjem KOH ili TMAH. Sloj p-tipa ponaša se kao sloj za stopiranje nagrizanja čime se obezbeđuje kružni oblik mlaznice.



Ilustracija kružne mlaznice i odgovarajućih proizvodnih koraka



Izbor putanje protoka tečnosti u ravni silicijuma puža mogućnost daljeg oblikovanja mlaznice i otvora. Implementacija aparature za čišćenje pomoću CO<sub>2</sub> omogućila je dizajniranje Si MEM mlaznice koja obezbeđuje subsonični protok tečnosti na ulazu i supersonični protok na izlazu. DRIE proces je pogodan za definisanje dubokog kanala (50 do 500 μm) u silicijumu uz željenu konturu mlaznice. Kontrola dimenzija ograničena je litografijom u ravni pločice na manje od jednog mikrona, dok je po dubini ograničena procesom nagrizanja na približno 10% ukupne dubine. Gornji poklopac se kasnije bondira korišćenjem anodnog bondiranja stakla ili fuziono bondiranja Si

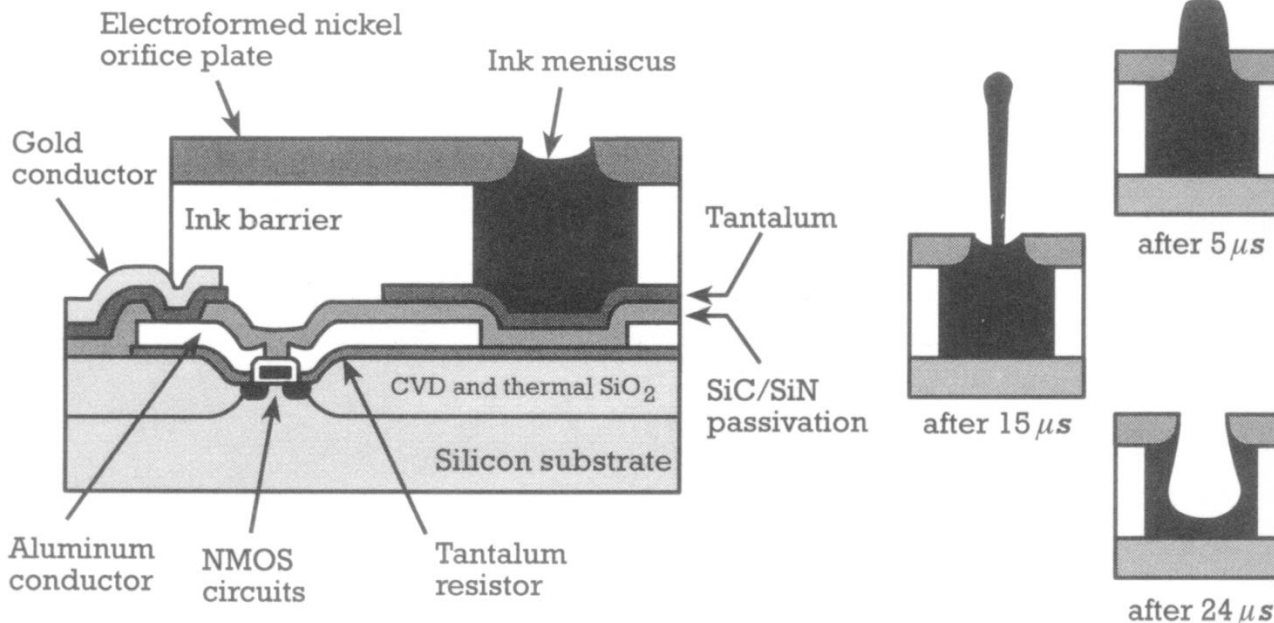


Ilustracija mlaznice sa protokom tečnosti u ravni Si pločice



# Mlaznice za INKJET štampanje

Hewlett-Packardova komponenta prikazuje osnovni princip termičkog inkjet štampanja. Tankoslojni otpornik od Ta, koji se nalazi na vrhu elektronskih kola za kontrolu, zagreva tanak sloj mastila ispod izlazne mlaznice, do 250°C. U roku od 5  $\mu$ s, formira se kapljica sa maksimalnim pritiscima koji dostižu 1.4 MPa (200 psi) kada počinje da se izbacuje mastilo iz otvora. Posle 15  $\mu$ s, kapljica mastila biva izbačena iz mlaznice. Za vreme od 24  $\mu$ s od početka zagrevajućeg impulsa, rep kapljice mastila se odvaja i ona se gubi iz mlaznice, što ima za posledicu visok pritisak u nastaloj šupljini. Za manje od 50  $\mu$ s, komora se dopunjuje i uspostavlja meniskus mastila na otvoru.

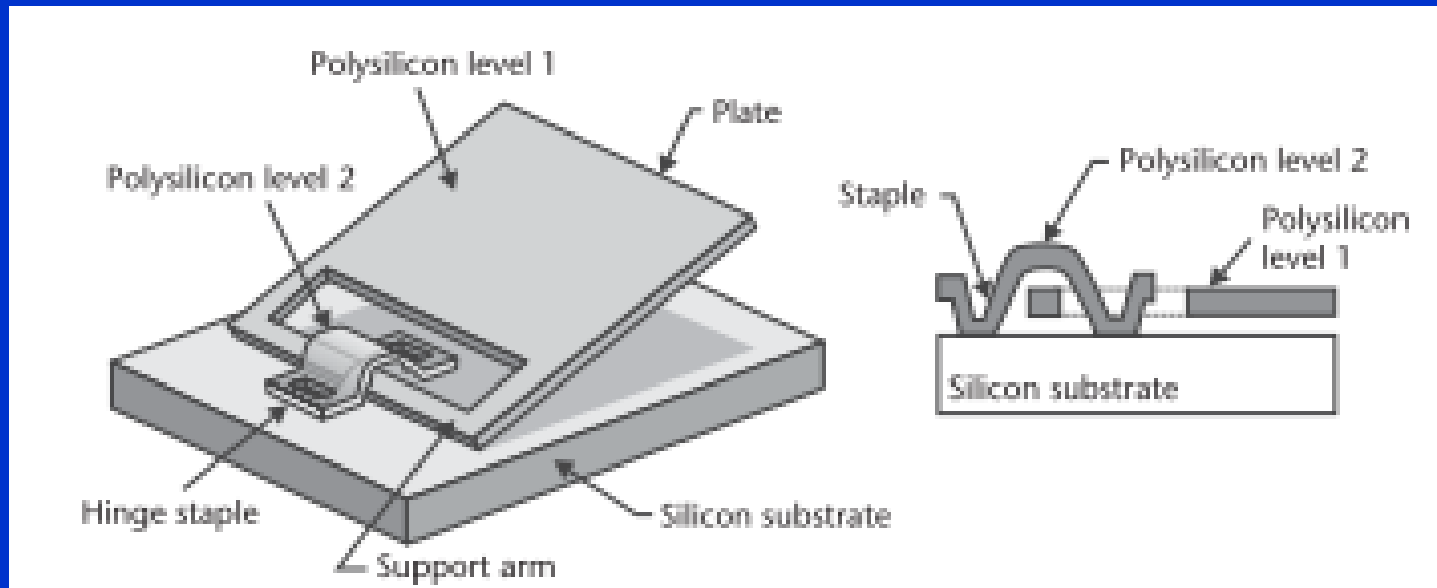


Ilustracija poprečnog preseka Hewlett-Packard-ove termičke inkjet glave i sekvence izbacivanja mastila



# Mehanizmi sa šarkama

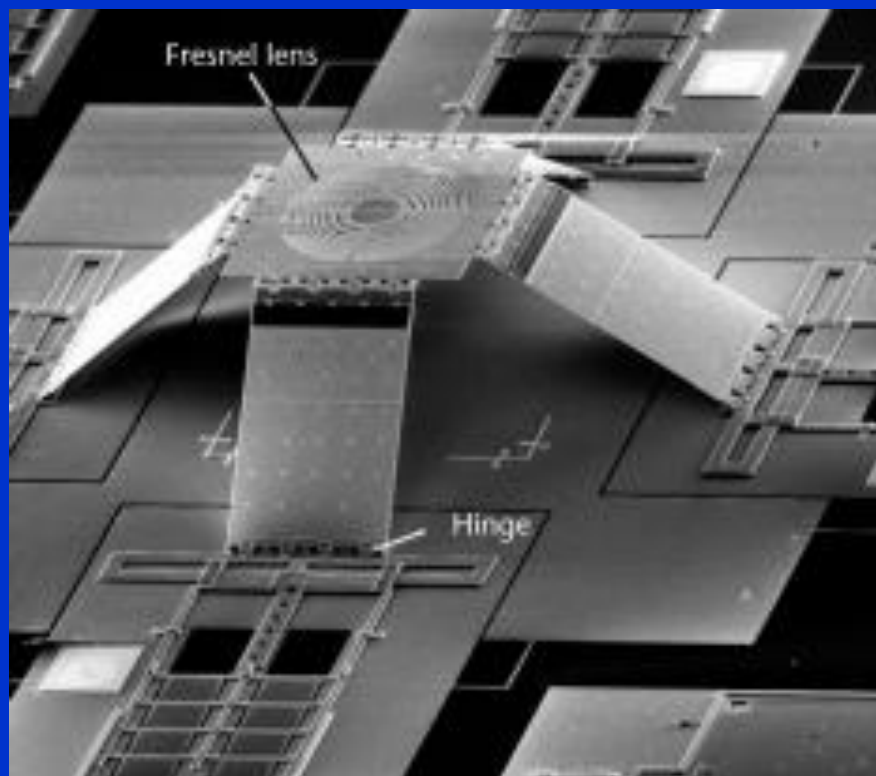
Šarke su vrlo korisni pasivni elementi koji se primenjuju i svakodnevnom životu. Na mikroskopskom nivou one proširuju upotrebljivost dvodimenzionalnih tehnologija površinskog mikromašinstva za dobijanje treće dimenzije. Proizvodnja šarki teče simultano sa ostalim planarnim strukturama. Savijanje šarki izvan ravni daje strukturama pristup prostoru iznad silicijumskog čipa.



Ilustracija šarke dobijene tehnologijom polisilicijumskog površinskog mikromašinstva



Struktura je jednostavna, sastoji se od ploče i držača napravljenog od prvog polisilicijumskog sloja. Spajač šarke napravljen od drugog polisilicijumskog sloja zahvata držač ploče. Spajač šarke je direktno vezan za silicijumski supstart. U proizvodnji koristi se tehnologija polisilicijumskog površinskog mikromašinstva. Polisilicijumski slojevi su tipično 2  $\mu\text{m}$  debeli. Pomoćni sloj fosfor-silikatnog stakla (PSG) je debljine 0.5 do 2.5  $\mu\text{m}$ . Fluorovodonična kiselina rastvara PSG sloj čime se mehanički oslobadja ploča od supstrata. Noviji dizajni uključuju i mehaničke poluge koje upadaju u udubljenja čime trajno zaključavaju šarku u vertikalnom položaju



Jedna od primena je mehanizam podizanja mikrosočiva, mikroogledala i ostalih komponenata na optičkim mikrosistema.

Fotografija Fresnelovih mikrosočiva na podesivoj platformi koja sadrži pet polisilicijumskih šarki