



MEMS

komponente

Prof. dr Vesna Paunović

Prof. dr Dragan Pantić



Aktuatori

Izlazni pretvarači (aktuatori) pretvaraju električni u neelektrični signal. Ako senzore predstavljamo kao naša čula, onda se aktuatori mogu porediti sa našim rukama i prstima. Pružaju agilnost i spretnost da manipuliramo fizičkim parametrima daleko van naših mogućnosti.

Razvojem MEMS tehnologije mnogi poslovi su postali lakši. San svakog hirurga je da ima elektronski kontrolisan i precizan hiruški pribor, pa da kada senzor kaže da nešto nije u redu, problem se odmah detektuje i otkloni. Na primeru čoveka može se objasniti uloga aktuatora u senzorskom sistemu.

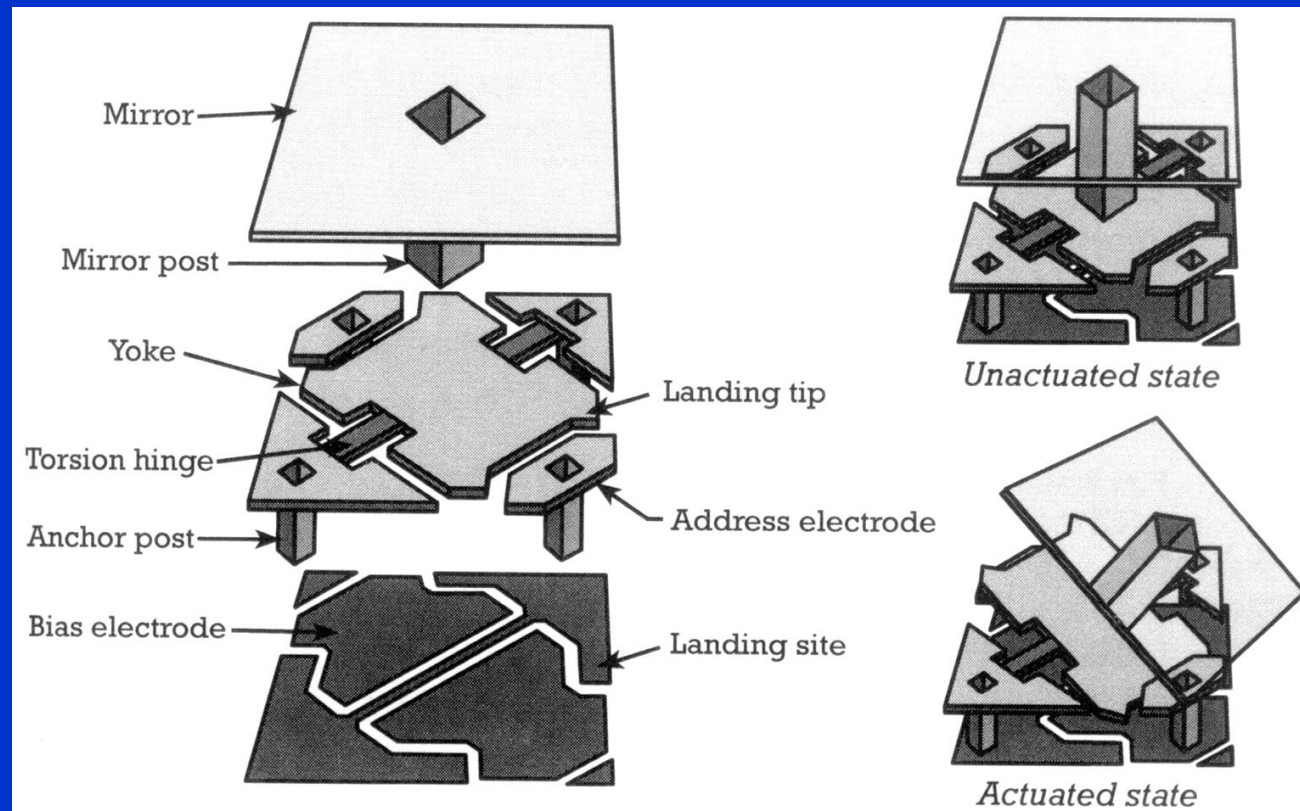
Aktuatori služe da električni signal koji dolazi iz senzora prihvati i obradi, tako da se dobije željeni neelektrični signal, kao što je zvuk, svetlost ili je mehanička energija koja će izvršiti neki rad.



Digitalna mikroogledala DMD

Digitalna mikroogledala (Digital Micromirror Device – DMD) su proizvod kompanije Texas Instruments, a razvijena su i komercijalizovana kao novi koncept u tehnologiji dipleja koji je nazvan DLP – Digital Light Processing.

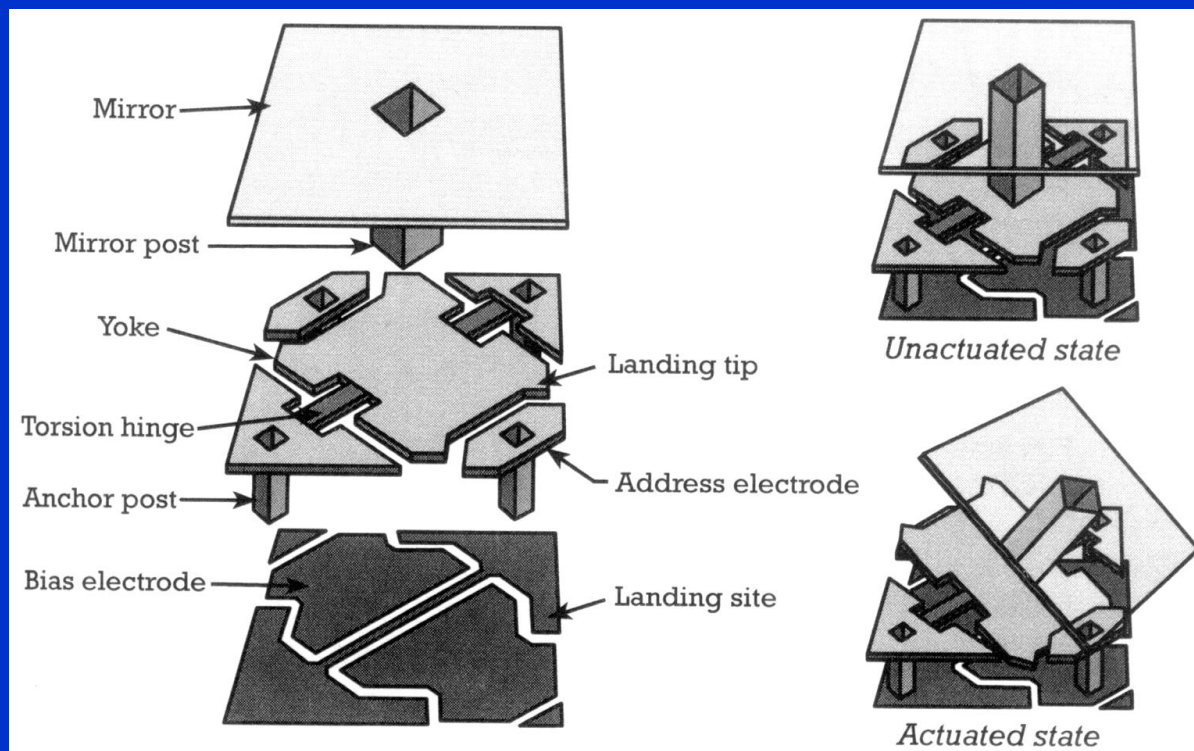
Digitalna mikroogledala se sastoje iz dvodimenzionalnog niza optičkih prekidačkih elemenata (piksela) na silicijumskom supstratu.



Digitalna mikroogledala DMD

Svaki piksel se sastoji od reflektujućeg mikroogledala povezanog na centralni nosač. Centralni nosač se montira na nižu metalnu platformu (yoke) koja visi pomoću tankih torzionih šarki čiji su krajevi preko fiksiranih nosača pričvršćeni direktno za supstrat.

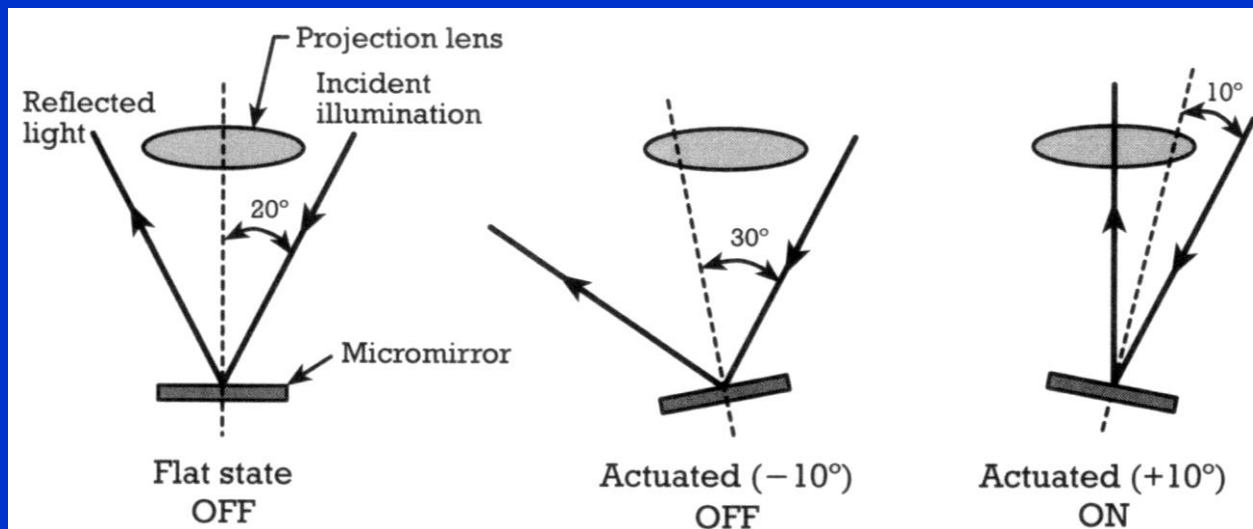
Dve elektrode pozicionirane ispod metalne platforme omogućavaju elektrostatičku aktuciju. Napon pobude od 24 V između jedne od elektroda i metalne platforme, naginje mikroogledalo ka toj elektrodi.





Ugao nagiba ograničen je geometrijom na $\pm 10^\circ$ (znak je definisan optikom). Obrtni moment šarki vraća mikroogledalo u početni položaj čim se primenjeni napon ukloni.

CMOS statičke RAM ćelije, napravljene ispod niza mikroogledala, kontrolišu individualna stanja aktucije svakog piksela i njihovo trajanje. OFF stanje memorijske ćelije nagnje ogledalo pod uglom od -10° , dok ga ON stanje nagnje pod uglom $+10^\circ$. U ON stanju svetlost se reflektuje od mikroogledala u projekciono sočivo, prouzrokujući da piksel svetli. U ostala dva stanja, tj. 0° i -10° , reflektovana svetlost ne prolazi kroz sočivo, tako da je piksel mračan.



Ilustracija upravljanja optičkim zrakom pomoću mikroogledala. Upadna svetlost se usmerava na projekciono sočivo samo kada je mikroogledalo nagnuto pod uglom od $+10^\circ$ i tada piksel svetli. Kada je ogledalo u nekom od druga dva stanja, piksel je taman



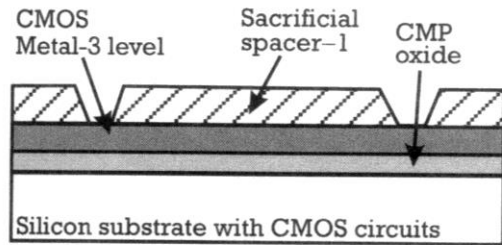
Pristup upravljanja svetlosnim snopom omogućava visoki kontrast između osvetljenog i mračnog stanja. Svako mikroogledalo je kvadratnog oblika, dimenzija $16 \mu\text{m}$ i pravi se od aluminijskog zbog visoke reflektivnosti. Pikseli su uređeni u dvodimenzionalni niz čime formiraju displej sa standardnom rezolucijom od 800×600 piksela (SVGA) do 1280×1024 piksela (SXGA).

Faktor punjenja (fill factor) definiše se kao odnos reflektujuće i ukupne površine ogledala i iznosi aproksimativno 90% što omogućava besprekornu projekciju slike bez pikselacije.

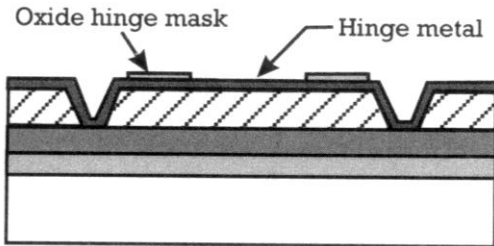
Iako je rad svakog ogledala digitalni (piksel je ili svetao ili mračan), sistem ima mogućnost da postigne sive nijanse podešavanjem vremena zadržavanja stanja svakog piksela.

Mehaničko vreme prekidanja (uključujući i vreme smirenja), je aproksimativno $16 \mu\text{s}$, što je mnogo brže od reakcije ljudskog oka. Pri ovim brzinama oko može samo prepoznati količinu (ne i trajanje) svetlosti koju prima impulsno. Modulacija trajanja impulsa (vremena zadržavanja stanja piksela) daje oku utisak sive boje. Pošto je brzina prekidanja piksela skoro 1000 puta veća od brzine reagovanja ljudskog oka, teoretski je moguće da se uspostavi oko 1000 nivoa sive boje, što je ekvivalentno 10 bitnoj dubini boje.

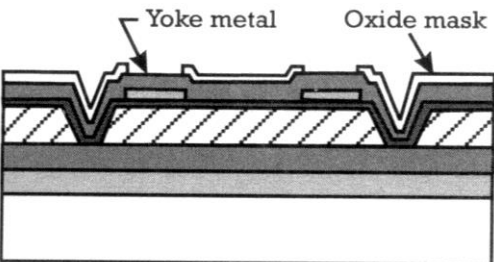
Za projekciju svih boja koriste se tri DMD čipa, svaki za jednu osnovnu boju (crvenu, zelenu i plavu). Ukupno se može dobiti 16 miliona diskretnih boja.



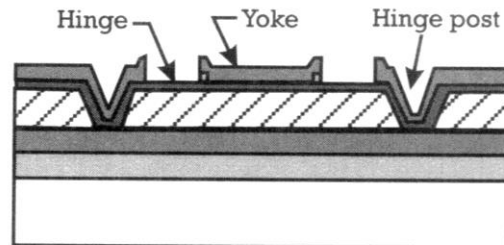
1. Pattern spacer – 1 layer



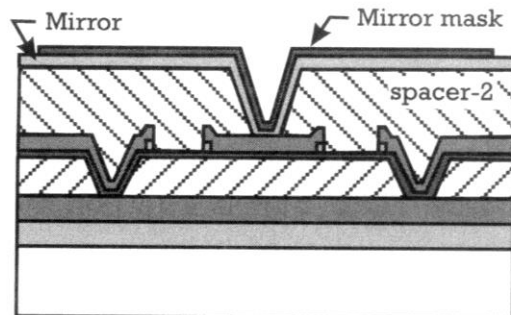
2. Deposit hinge metal; deposit and pattern oxide hinge mask



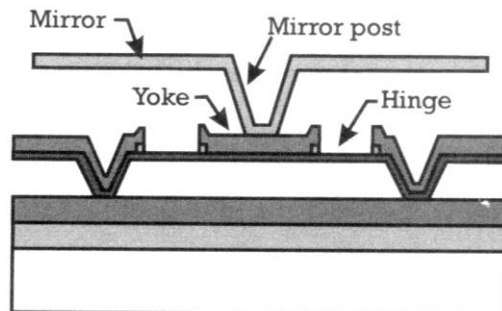
3. Deposit yoke and pattern yoke oxide mask



4. Etch yoke and strip oxide



5. Deposit spacer-2 and mirror



6. Pattern mirror and etch sacrificial spacers

Osnove DMD proizvodnog procesa su slične tehnologiji površinskog mikromašinstva (ecovanju jednog ili više pomoćnih slojeva za oslobađanje mehaničkih struktura), ali se razlikuju po tome što treba izvršiti integraciju od skoro jednog miliona mikromašinskih struktura sa CMOS elektronikom. Svi tehnološki procesi odvijaju se na temperaturama ispod 400 °C, što obezbeđuje integritet elektronskih kola ispod ogledala.

Koraci u procesu proizvodnje DMD- a firme Texas Instruments



Standardna 0.8 μm CMOS tehnologija sa dvslojnom metalizacijom koristi se za proizvodnju kontrolnih kola i SRAM memorijskih ćelija.

Tanak sloj silicijum-dioksida deponuje se preko drugog CMOS metalnog sloja. Hemomehaničkim poliranjem (CMP- ChemoMechanical Polishing) silicijum-dioksidnog sloja dobija se tanka početna površina za DMD strukture koje slede.

Treći metalni sloj deponuje se spaterovanjem Al, a zatim oblikuje u elektrode za napajanje i adresiranje i električne veze za elektroniku u supstratu.

Za formiranje prvog pomoćnog sloja vrši se spin-on depozicija fotorezista, koji se zatim izlaže UV svetlosti i razvija. Spaterovanjem legure aluminijuma definiše se metalni sloj šarke.

Sledeći korak je PECVD depozicija tankog silicijum-dioksida koji služi kao maska za regiju torzione šarke. Uz zadržavanje ove maske, sledi depozicija debljeg sloja metala spaterovanjem odgovarajuće legure aluminijuma. Onda se deponuje tanak sloj silicijum-dioksida koji deluje kao maska pri ecovanju debljeg sloja metala čime se formira metalna platforma i držači.

Silicijum-dioksidni maskirni slojevi se uklanjaju pre nego što se nanese drugi pomoćni sloj depozicijom fotorezista. Još jedna depozicija spaterovanjem legure aluminijuma definiše materijal ogledala i nosača ogledala. Tokom ecovanja aluminijumske legure, oblast ogledala štiti silicijum-dioksidna maska.