

Framleiðsla smárása:

Örörvar og örnemar

Kaflí 22

Jón Tómas Guðmundsson

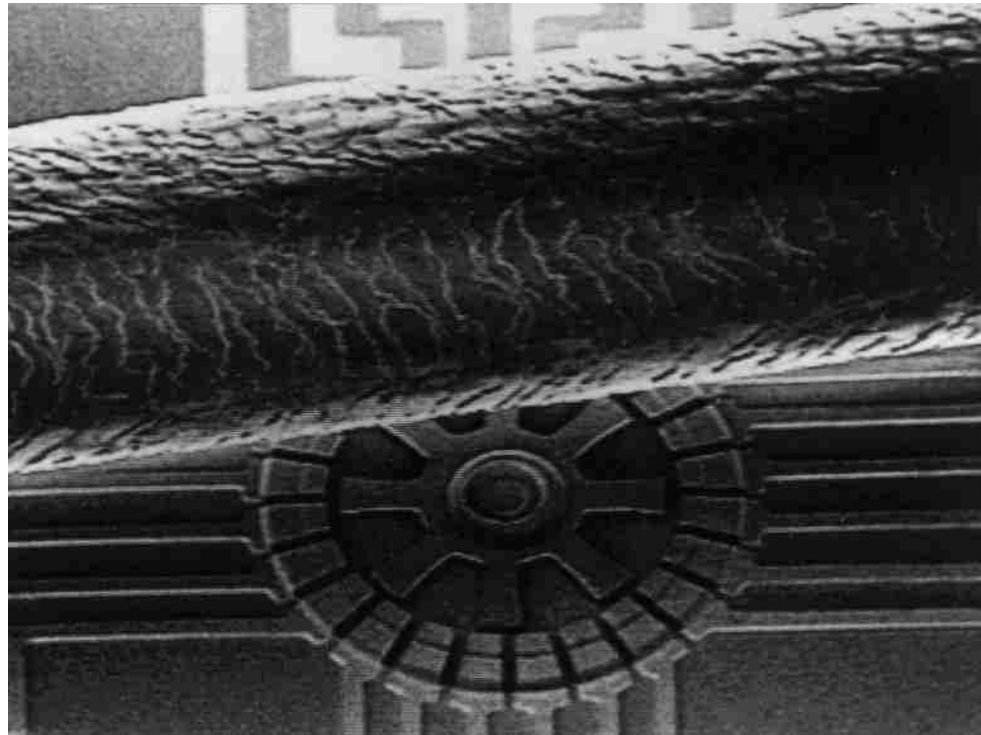
tumi@hi.is

14. vika haust 2016

Örtækni

- Örsmæðar raf-hreyfibúnaður (e. microelectromechanical systems (MEMS)) samanstanda af örsmáum einingum sem oft eru samþættar við smárás
- Slíkur búnaður er framleiddur á svipaðan hátt og smárásir
- Helsti kosturinn er ekki endilega smæðin heldur er það að lithographytæknina, sem gerir það kleift að fjöldaframleiða flóknar smárásir, má nýta til að framleiða vélræna nema og örva (e. actuators)

Örtækni



- Á myndinni sést mótor úr kísli ásamt mannshári (þvermál $\sim 50 \mu\text{m}$)

Örtækni

- Þegar örvélar eru byggðar er notuð þekkt tækni úr hálfleiðariðnaðinum
 - kísilskífur
 - ræktunartækni
 - lithography
 - tengivélar
 - ljósviðnámsefni
 - pökkun
 - áreiðanleikagreining

Örtækni

- Mögulegt er að framleiða slíkar örvélar tiltölulega ódýrt í stærðum 0.1 - 100 μm
- Þær draga lítið afl og vinna á miklum hraða
- Þetta geta verið raunverulegar vélar - hafa hreyfanlega hluta - jafnvel í milljónatali

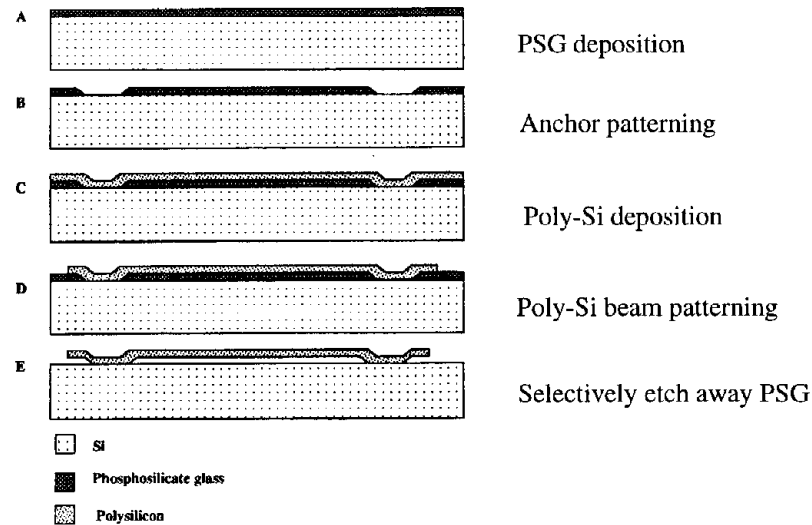
Örtækni

- Dæmi um notkun örörva og örnema:
 - apparatið sem skynjar hvenær skjóta á út líknarbelg ökutækja
 - hálfleiðaraleysar með stillanlega bylgjulengd
 - örvélmenni
 - örtangir
 - taugakanni
 - myndvarpaflaga, sem hefur milljónir stýranlegra spegla
 - gerfi sjónhimna úr kísli

Örtækni

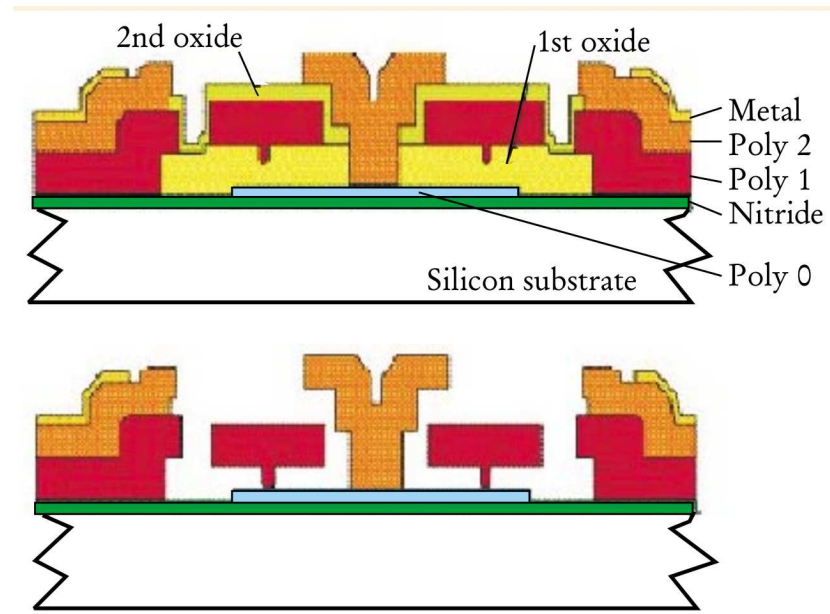
- Örtækni er þverfagleg:
 - örframleiðsla kísils (e. microfabrication)
 - hönnun vélbúnaðar
 - efnisfræði
 - núningsfræði (e. tribology)
 - stýritækni
 - rafstöðufræði
 - metrology
 - þjarkafræði (e. robotics)
 - micro-telemanipulation

Örtækni



- Bygging örnema og örörva svipar til þess að baka tertu (randabrauð) lag fyrir lag
- Lykillinn að framleiðslu örvéla var að nýta mætti fórnarlag
- Fórnarlagið heldur lögunum aðskyldum á meðan hluturinn er byggður en er síðan eytt í síðasta skrefinu

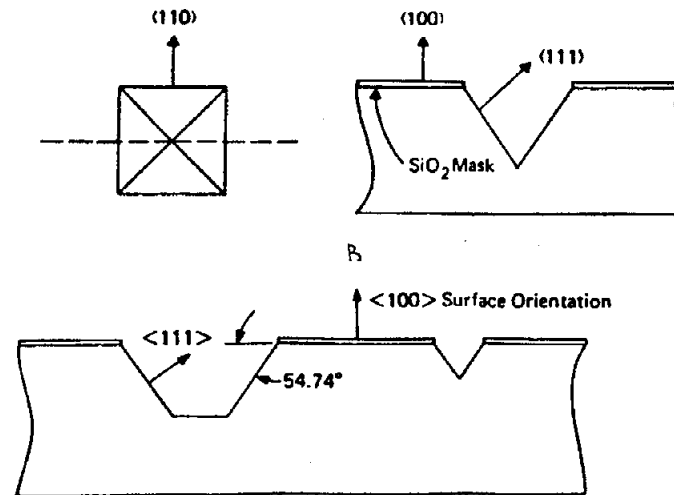
Örtækni



Bishop et al., *Physics Today*, **54** (October 2001) 38 – 44

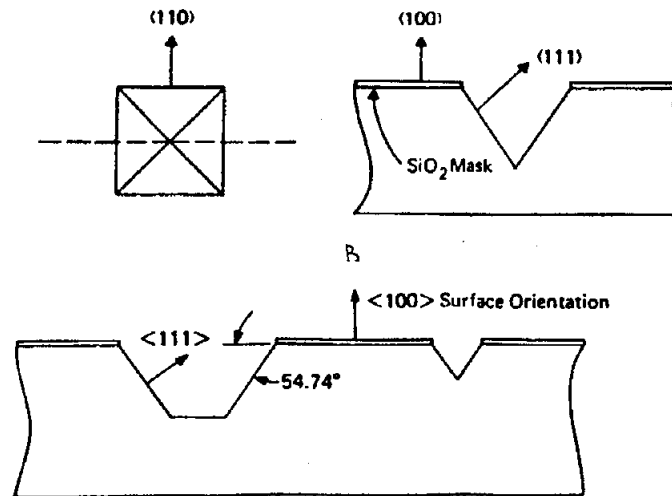
- Hér oxíð notað sem fórnarlag

Örtækni



- Á sjötta áratug tuttugustu aldar var það þekkt að æting með basískri lausn er mjög háð stefnu flata (e. facets)
- Þannig má gera tiltekinn flöt kísilskífu berskjaldaðan með tilliti til tiltekinnar stefnu til að framkalla holur með nákvæmlega hallandi veggjum

Örtækni



- Halli veggjanna ræðst af þeim kristallaplönnum sem ekki eru auðætt
- Þá má nota kísiloxíð eða kísilnítíð sem grímu til að vernda þá hluta skífunnar sem ekki á að æta
- Það má einnig stoppa ætingu með t.d. háíbættu svæði

Örtækni

- Við örvélavinnslu úr bolefni (e. bulk micromachining) er kísilskífa mótuð (e. sculpting)) með ætingu í stefnuháðum ætilausnum
- Við örvélavinnslu á yfirborði (e. surface micromachining) er með samspili ræktunar og ætingar margra laga, fórnarlaga og burðar- eða byggingarlaga, byggð flökin mannvirki
- Eftir ræktun nokkurra laga er fórnarlagið ætt í burtu og eftir er skilin fullkomin örbygging
- Þessari hugmynd var upphaflega beitt á sjöunda áratugs tuttugustu aldar hjá Rannsóknarstofnun Westinghouse í Pittisburgh og þá notaðar málmhúðir

Örtækni

- Á fyrri hluta níunda áratugarins fóru vísindamenn við Kaliforníuháskóla í Berkeley að nota kísiloxíð sem fórnarlag og fjölkristallaðan kísil sem byggingarefni (burðarefni)
- Þunnar húðir eru þá ræktaðar, til skiptis oxíð og fjölkristallaður kísill, á kísilskífu úr gasfasa (CVD)
- Þá var hægt að framkalla fjölda burðar- og vélrænna eininga svo sem burðarbita, fóðringar og ýmsan liða- og armabúnað
- Vísindamenn við Wisconsin háskóla í Madison ræktuðu fleiri húðir eftir að fórnarlagið var fjarlæggt og þróuðu aðferð til að mynda lokuð holrúm (hermihol)

Aflfræði örvéla

- Aflfræðin í þessari míkroveröld er nokkuð ólík því sem við höfum vanist
- Meginmunurinn liggur í því að hlutfall yfirborðs og rúmmáls er afar ólíkt
- Mikilvægi tregðu- og núningskrafta eru ólík og yfirborðsáhrif verða afar mikilvæg
- Núningskraftar geta verið ráðandi
- Aðdráttarkraftur sameinda getur skipt verulegu máli
- Samspil aðdráttarkrafts og núnings eru afar mikilvæg (e. sticktion (stiky and friction))

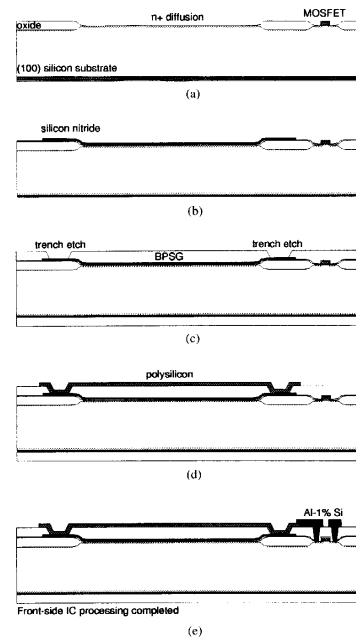
Aflfræði örvéla

- Gerum ráð fyrir kerfi sem er skalað 100 fallt niður
- Massinn og þar af leiðandi tregðu- og þyngdarkraftar minnka 1.000.000 fallt
- Kraftar sem skalast eins og flatarmál kerfis, rafstöðukraftar og loftþrýstikraftar, falla aðeins 10.000 fallt
- Hlutfall þessara krafta og þyngdarkrafts eykst því 100 fallt
- Rykögn á yfirborði spegils er því haldið þar með rafstöðukrafti sem er mun sterkari en þyngdaraflið

Aflfræði örvéla

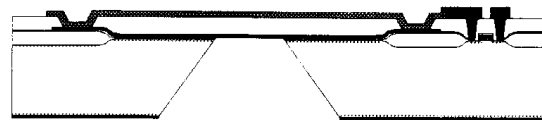
- Hlutfallið milli álagðrar spennu og tognunar, stuðull Young, er þá lykillinn að hönnun örvéla
- Núningur og slit verða að vandamáli
- Hvernig er hægt að besta vélræna eiginleika fjölkristallaðs kísils við ræktun ?
- Hvað með önnur efni eins og demant eða gropin kísil ?

Þrýstinemi - rýmdarbreyting



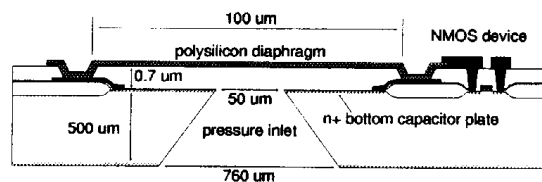
- Rýmdarnemar eta verið afar næmir þrýstinemar og tiltölulega óháðir hitastigi
- Með samspili örvélavinnslu bolefns og yfirborðs og MOS framleiðslutækni má byggja í eina smárás nema og sviðssmára

Prýstinemi - rýmdarbreyting

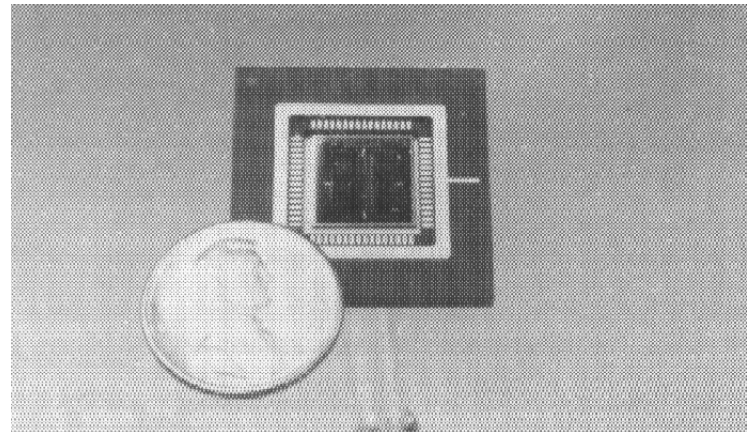


One-sided anisotropic KOH etch : 80 C 6 hours, 60 C 2 hours

(a)

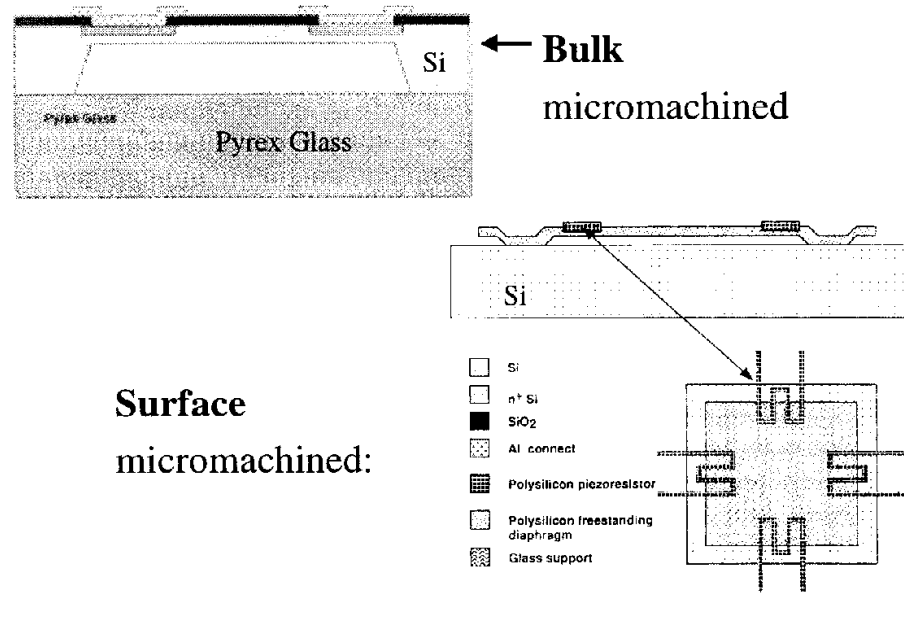


(b)



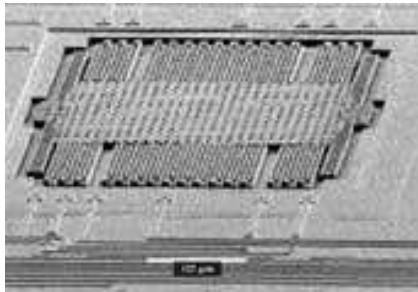
J. T. Kung and H.-S. Lee, *Journal of Microelectromechanical Systems*, 1 (1992) 121

Þrýstinemi



- Þrýstinemi sem notar piezoviðnám (e. piezoresistance) úr fjölkristölluðum kísli
- Þindin (e. diaphragm) er úr fjölkristölluðum kísli

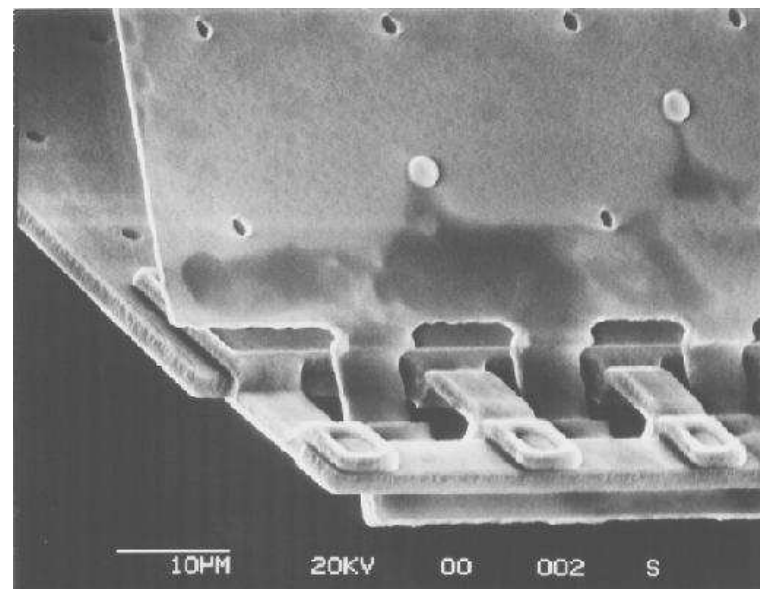
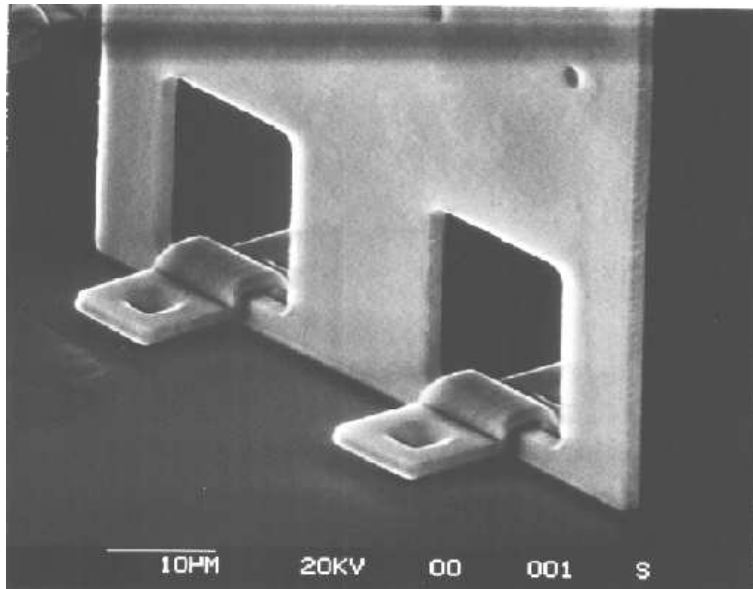
Hröðunarskynjun



Bishop et al., *Physics Today*, **54** (October 2001) 38 – 44

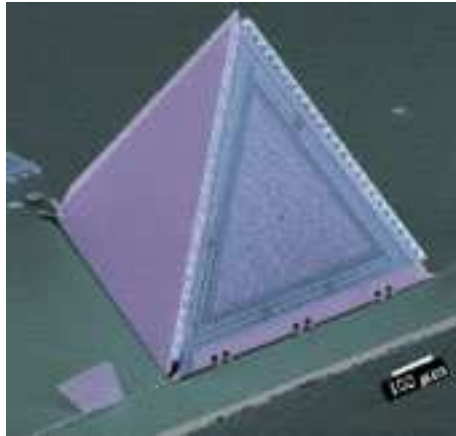
- Hröðunarskynjari er grunneiningin í líknarbelgjum (e. airbag)
- Tólið samanstendur af miðjueiningunni, massanum, sem er tengdur umhverfinu með gormum
- Hröðunarneminn skynjar snöggar breytingar í hröðun bifreiðar og kemur af stað sprengihleðslu í líknarbelgnum
- Upphaflega var þetta framkvæmt með rafvélatóli á stærð við kókdós en nú er þetta leyst með rás á stærð við sykurmola - þetta smáa tól vinnur einnig mun hraðar

Örhjarir



Mynd <http://www-bsac.eecs.berkeley.edu/>

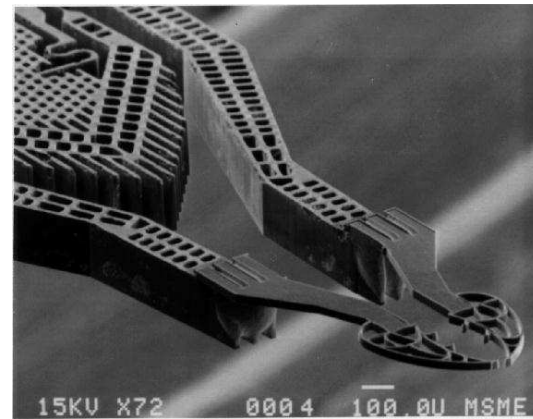
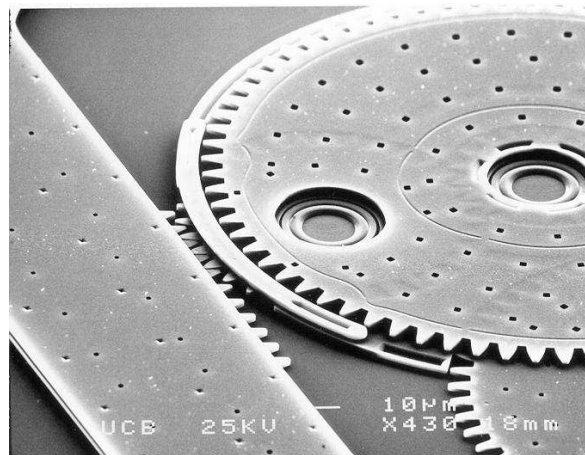
Hljóðnemi



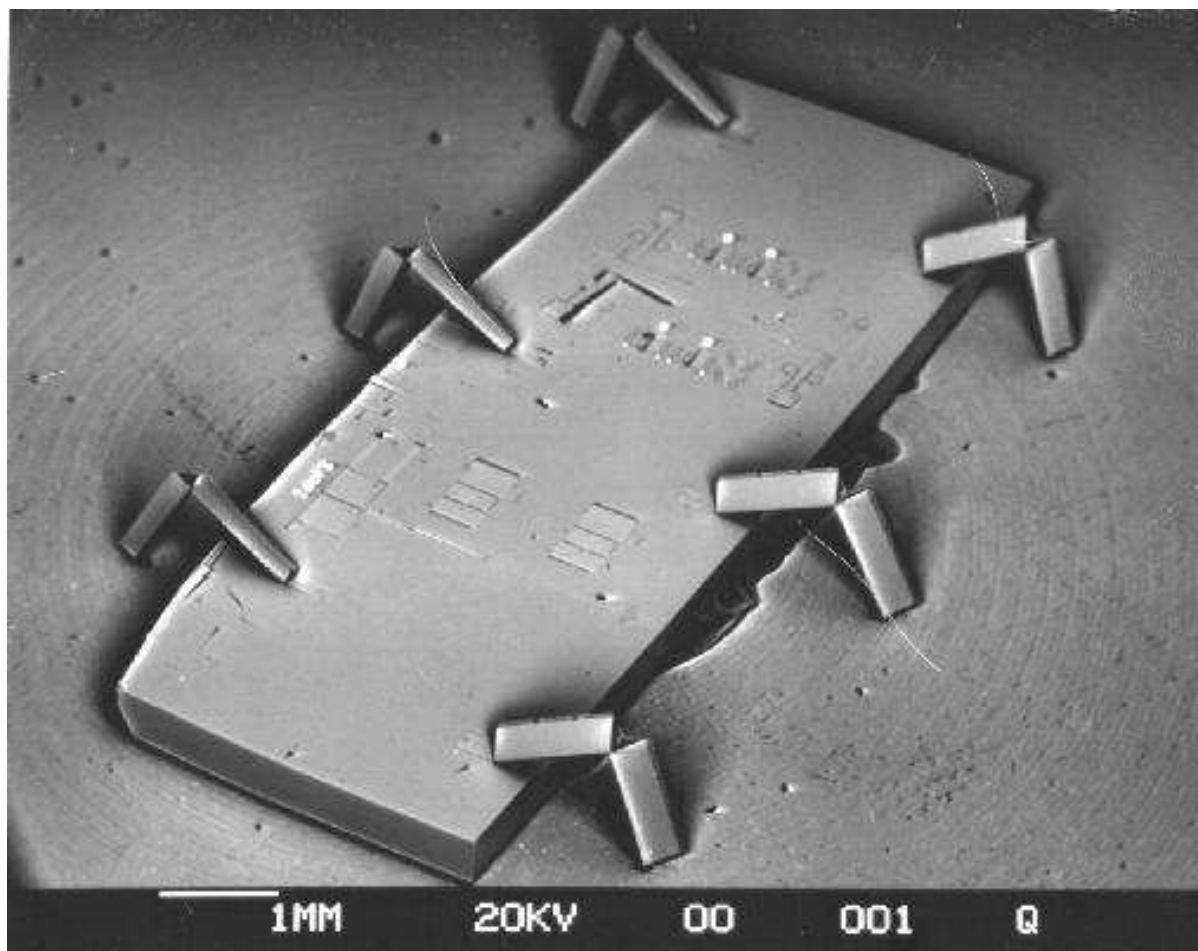
Bishop et al., *Physics Today*, **54** (October 2001) 38 – 44

- Hljóðnema má byggja inn í bæði hliðræna rf rás eða stafræna rás
- Hann er byggður með því að mynda plötur á hjörum sem lagðar eru saman til að mynda hyrnu
- Aftan við ristina að framan er himna (e. membrane) og saman mynda ristin og himnan þétti
- Hljóð hreyfir himnuna og rafrás nemur rýmdarbreytinguna

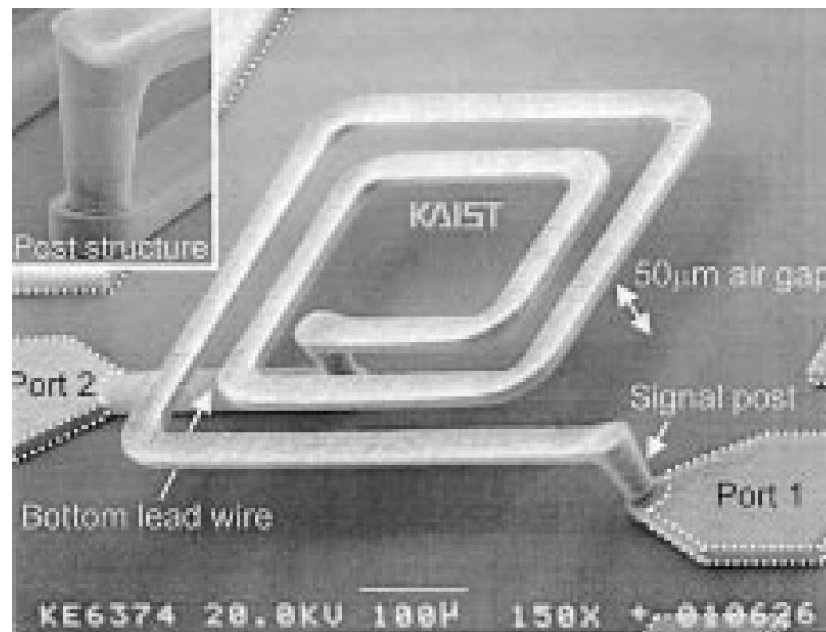
Örvélar



Örmaur



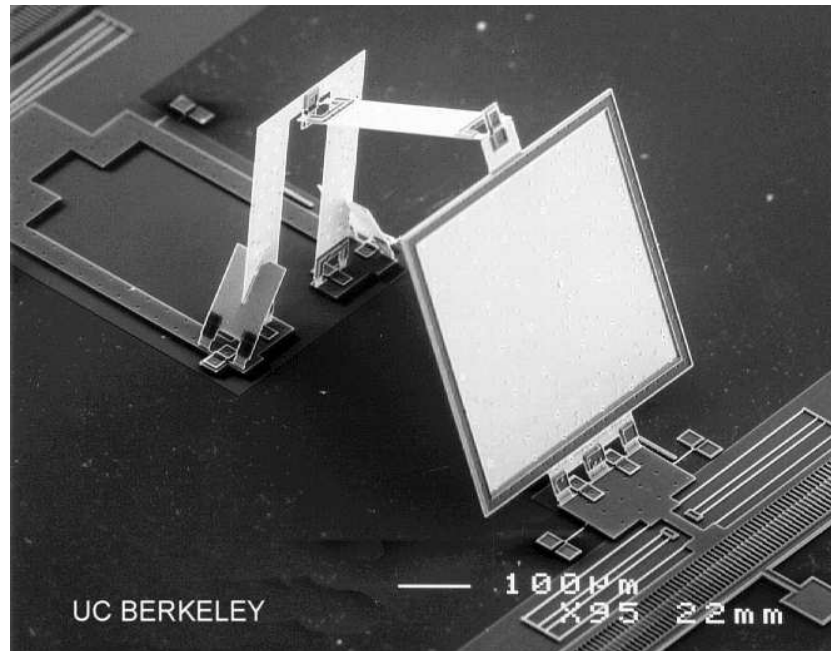
Spóla



Yoon et al. *IEEE Electron Device Letters*, **23** (2002) 591–593

- Spóla með Q -stuðul 70 við 6 GHz og span 1.38 nH við 1 GHz
- CMOS samhæfanleg til notkunar í RF rásir

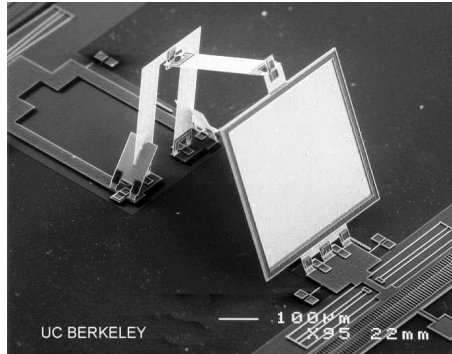
Örspeglar



Meng-Hsiung Kiang, Olav Solgaard, Richard S. Muller, and Kam Y. Lau, *IEEE Photonics Technology Letters*, **8** (1996), 95–97

- Örspeglar hannaðir til notkunar fyrir ytra hermihol í hálfleiðaraleysieiningu

Örspeglar

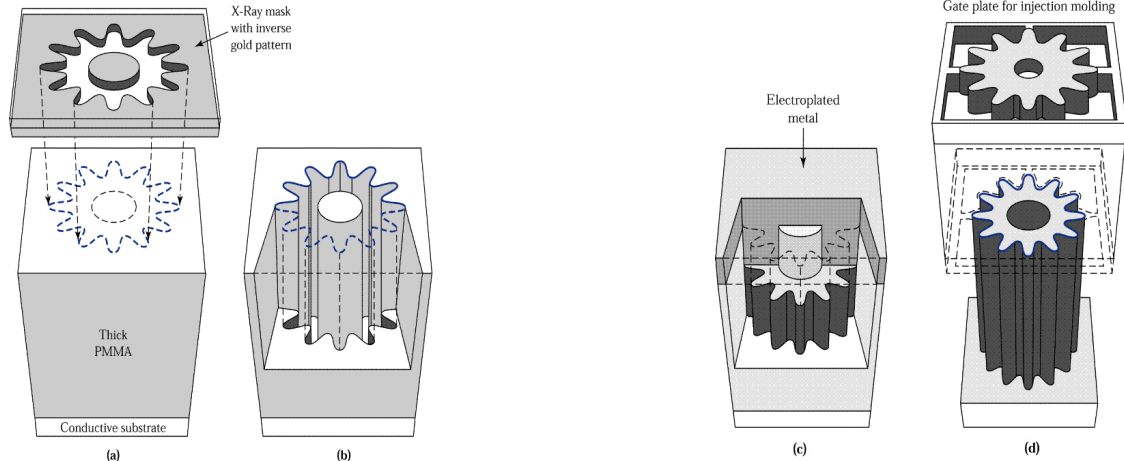


- Þegar örörvakambur er samþættur á sömu flögu þá má ná fram samfelldri og nákvæmri stillingu á stöðu spegilsins
- Dæmi um hagnýtingu:
 - háttarlæstir hálfleiðaraleysar með stillanlegri tíðni
 - leysar með stillanlega bylgjulengd í ytra hermiholi
 - leysar með tengdum hermiholum (þrír speglar)

LIGA

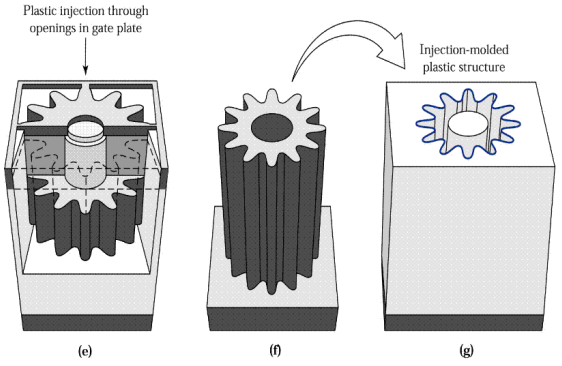
- Ein framleiðslutækni örtóla er LIGA tæknin
- LIGA stendur fyrir lithographic, galvanoformung, abformung
- Aðferðin samastendur af þremur grunn ferlum lithography, rafhúðun (e. electroplating) og mótun (e. molding)
- LIGA þarfnast röntgengeislunar frá samhraðli (e. synchrotron)
- Með þessari tækni má byggja tól sem eru μm á breidd og hundruð μm á hæð

LIGA



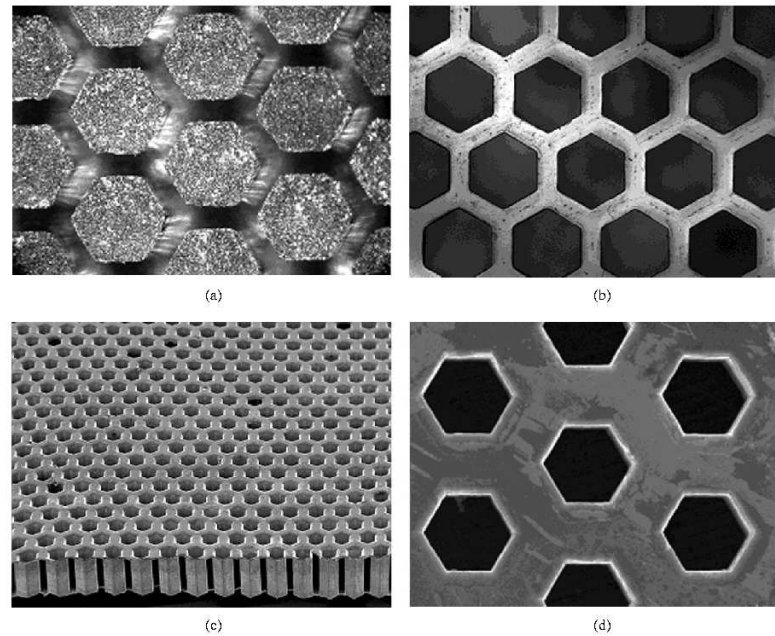
Semiconductor Devices, 2/E by S. M. Sze
Copyright © 2002 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

Semiconductor Devices, 2/E by S. M. Sze
Copyright © 2002 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.



Semiconductor Devices, 2/E by S. M. Sze
Copyright © 2002 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

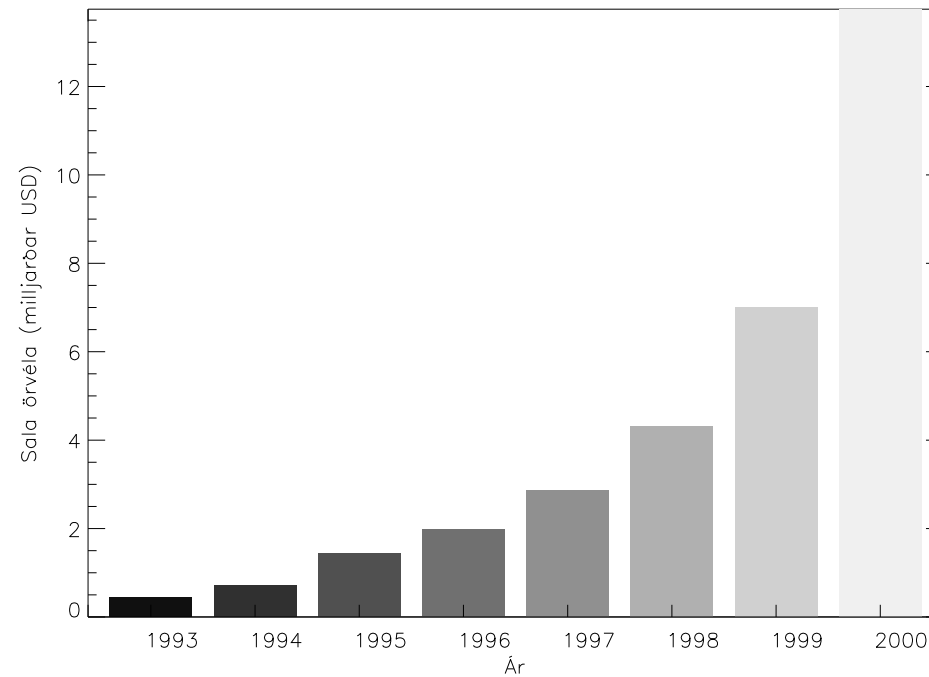
LIGA



Harris et al. (2002)

- Varmaskiptir úr nikkel
 - hlið á sexkanti er $250 \mu\text{m}$
 - fjarlægð milli samsíða hliða $150 \mu\text{m}$
 - hæð á sexkanti 1 mm

Markaður



- Heimsmarkaður fyrir örvélar
- Örnemar og örörvar hafa ýmsa hagnýtingu

Heimildir

- [1] S. M. Sze, *Semiconductor devices: Physics and technology*, John Wiley & Sons, 2ed., 2002, kaflar 12.5
- [2] R. T. Howe, R. S. Muller, K. J. Gabriel and W. S. N. Trimmer, Silicon micromechanics: sensors and actuators on a chip, *IEEE Spectrum*, **27**(7) (1990) 29–35
- [3] K. E. Petersen, Silicon as a mechanical material, *Proceedings of the IEEE*, **70** (1982) 420 – 457
- [4] J. T. Kung and H.-S. Lee, An Integrated Air-Gap-Capacitor Pressure Sensor and Digital Readout with Sub-100 Attofarad Resolution, *Journal of Microelectromechanical Systems*, **1** (1992) 121–129
- [5] Meng-Hsiung Kiang, Olav Solgaard, Richard S. Muller, and Kam Y. Lau, Silicon-micromachined micromirrors integrated with high-precision actuators for external-cavity semiconductor lasers, *IEEE Photonics Technology Letters*, **8** (1996), 95–97
- [6] Jun-Bo Yoon, Yun-Seok Choi, Byeong-Il Kim, Yunseong Eo, Euisik, CMOS-compatible surface-micromachined suspended-spiral inductors for multi-GHz silicon RF ICs, *IEEE Electron Device Letters*, **23** (2002) 591–593
- [7] C. Harris, K. Kelly, Tao Wang, A. McCandless and S. Motakef, Fabrication, modeling, and testing of micro-cross-flow heat exchangers, *Journal of Microelectromechanical Systems*, **11** (2002) 726-735
- [8] David Bishop, Peter Gammel, and C. Randy, The Little Machines That are Making it Big, *Physics Today*, **54** (October 2001) 38 – 44