

**Framleiðsla smárása:**

# **Örörvar og örnemar**

**Kaflí 22**

**Jón Tómas Guðmundsson**

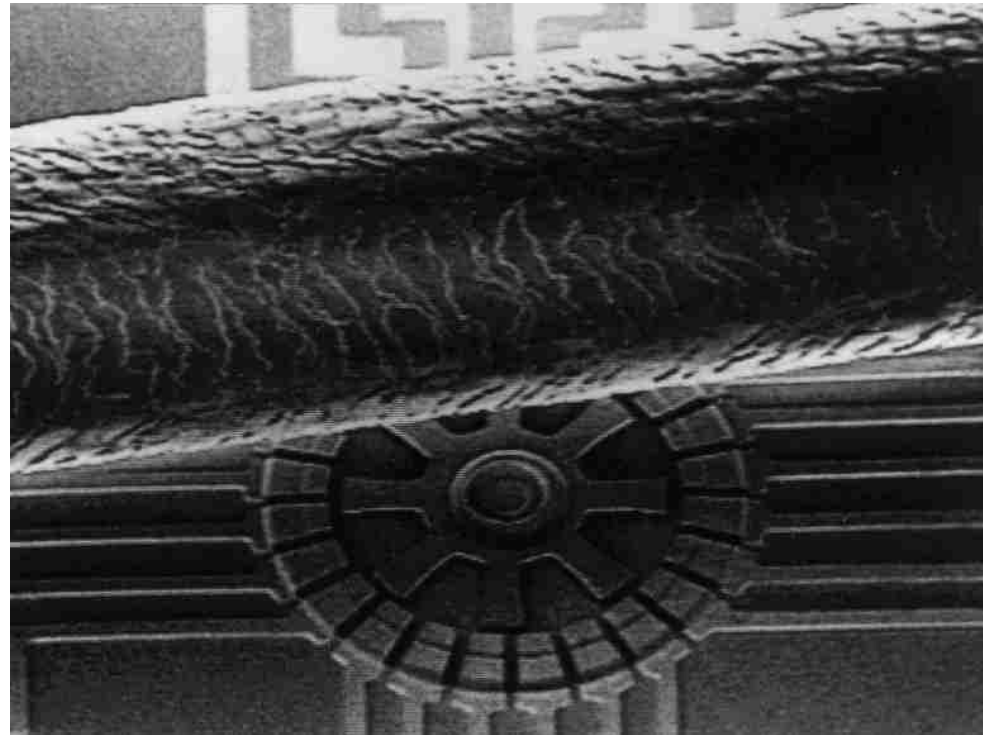
**[tumi@hi.is](mailto:tumi@hi.is)**

**14. vika haust 2018**

## 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  $\mu\text{m}$
- Þær draga lítið afl og vinna á miklum hraða
- Þetta geta verið raunverulegar vélar - hafa hreyfanlega hluta - jafnvel í milljónatali

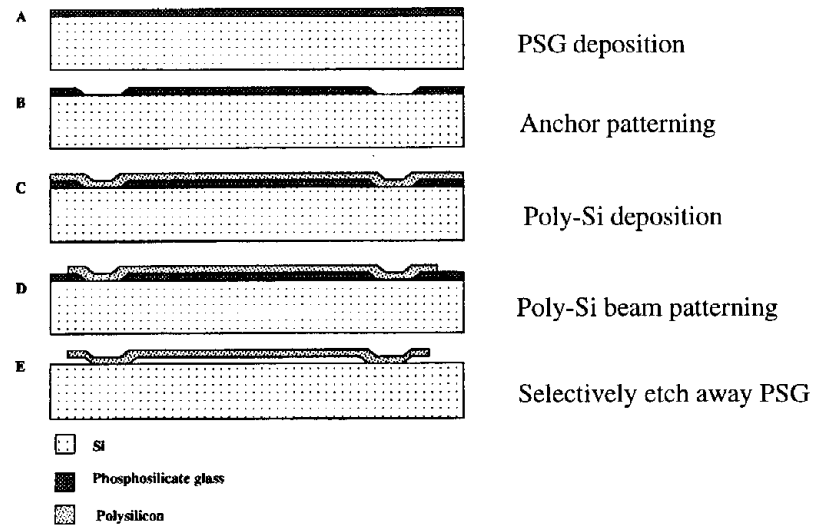
## Örtækni

- 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

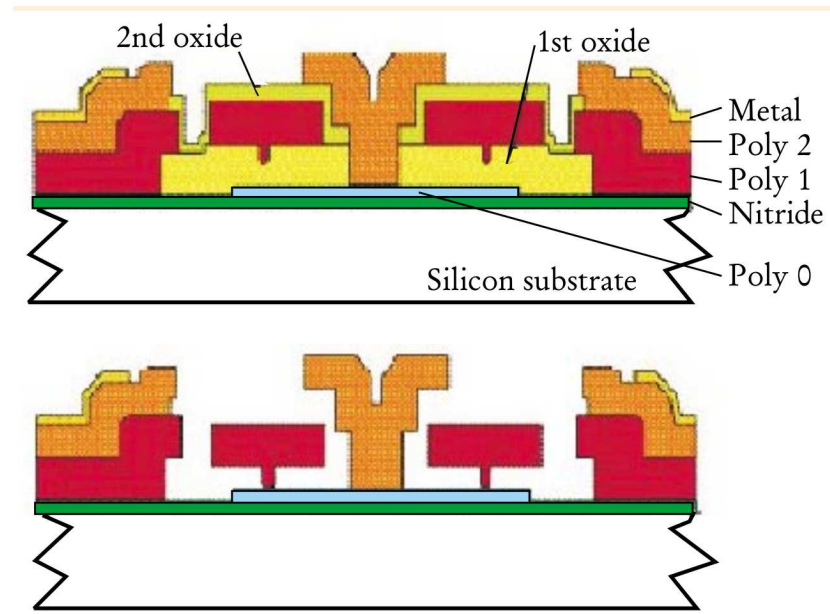
# Örtækni



- 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



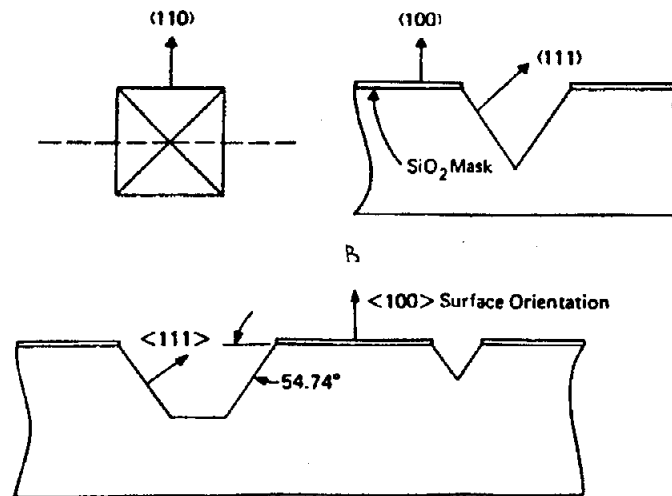
# Örtækni



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

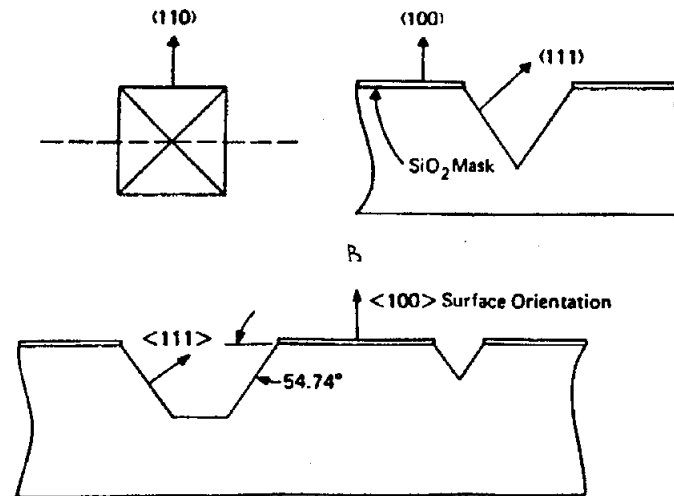
- Hér oxíð notað sem fórnarlag

# 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

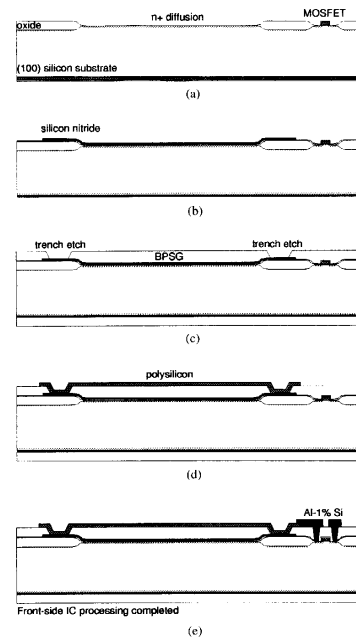
- Gerum ráð fyrir kerfi sem er skalað 100 fallt niður
- Massinn og þar af leiðandi tregðu- og þyngdarkraftar minnka 1.000.000 fallt
- Kraftar sem skalast eins og flatarmál kerfis, rafstöðukraftar og loftþrýstikraftar, falla aðeins 10.000 fallt
- Hlutfall þessara krafta og þyngdarkrafts eykst því 100 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 ?

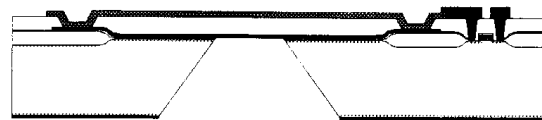


# Þrýstinemi - rýmdarbreyting



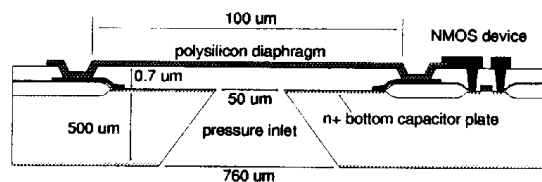
- Rýmdarnemar eta verið afar næmir þrýstinemar og tiltölulega óháðir hitastigi
- Með samspili örvélavinnslu bolefns og yfirborðs og MOS framleiðslutækni má byggja í eina smárás nema og sviðssmára

# Prýstinemi - rýmdarbreyting

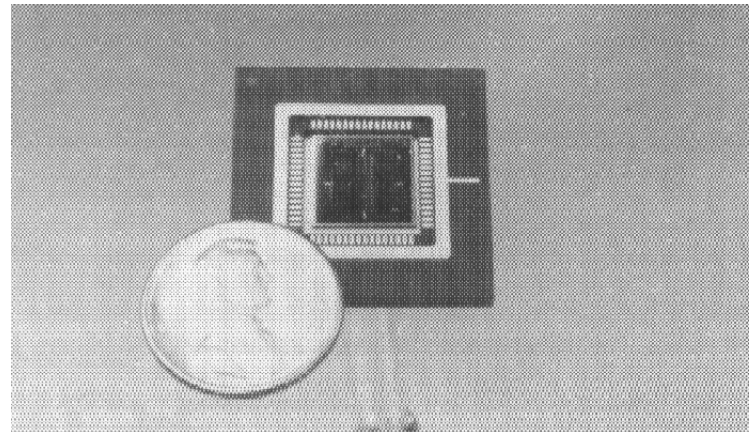


One-sided anisotropic KOH etch : 80 C 6 hours, 60 C 2 hours

(a)

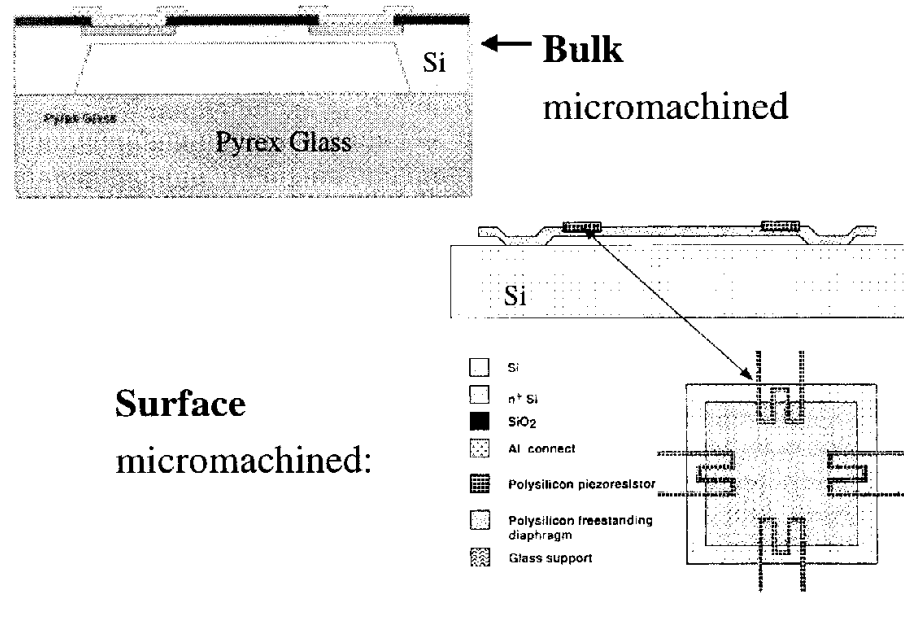


(b)



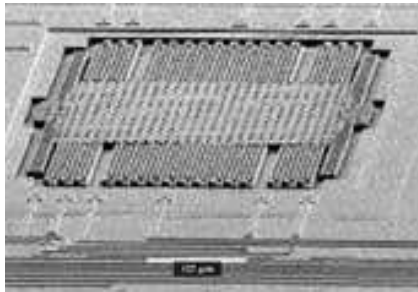
J. T. Kung and H.-S. Lee, *Journal of Microelectromechanical Systems*, 1 (1992) 121

# Þrýstinemi



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

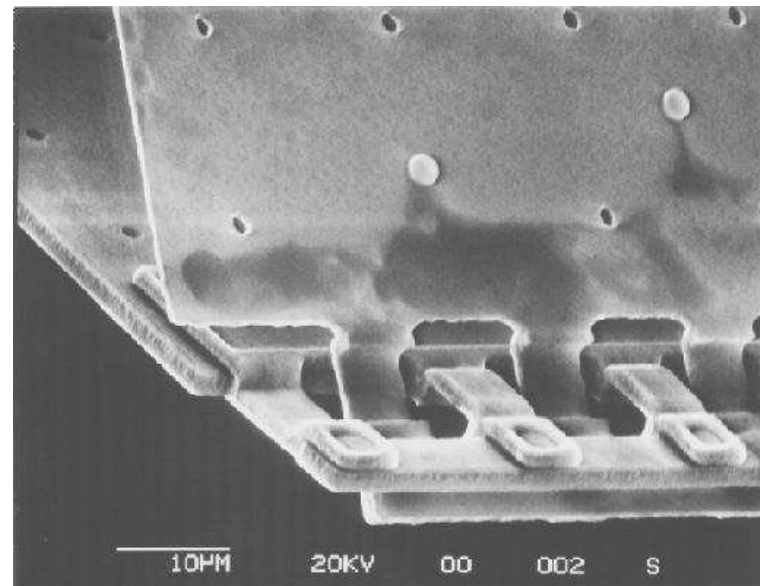
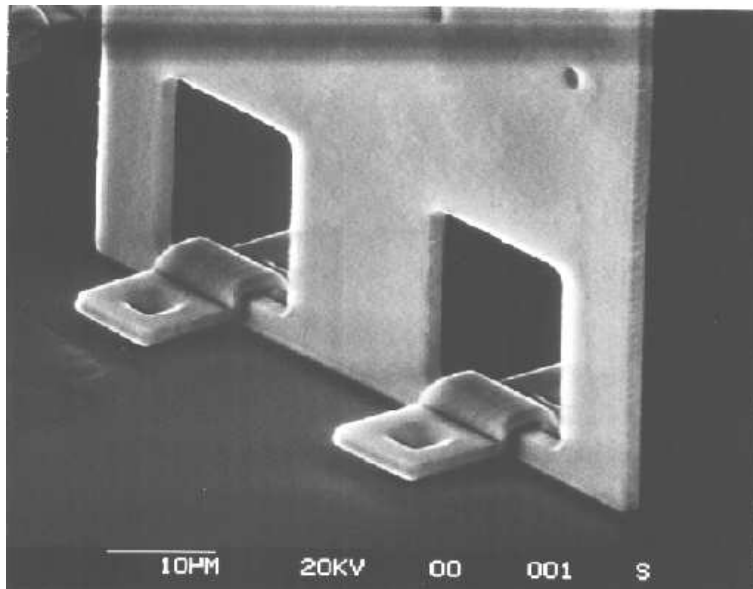
# Hröðunarskynjun



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

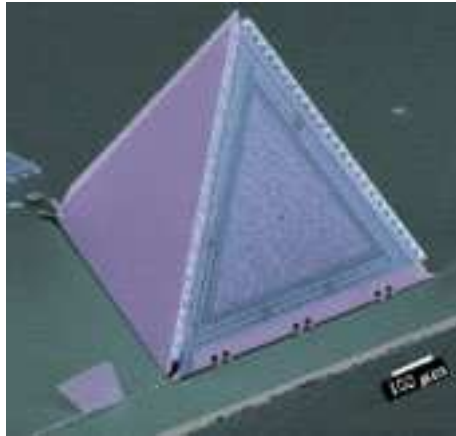
- Hröðunarskynjari er grunneiningin í líknarbelgjum (e. airbag)
- Tólið samanstendur af miðjueiningunni, massanum, sem er tengdur umhverfinu með gormum
- Hröðunarneminn skynjar snöggar breytingar í hröðun bifreiðar og kemur af stað sprengihleðslu í líknarbelgnum
- Upphaflega var þetta framkvæmt með rafvélatóli 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/>

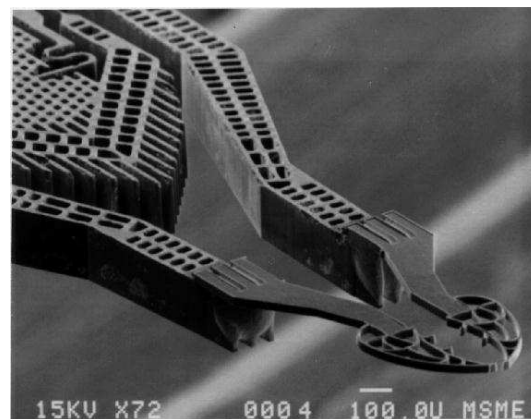
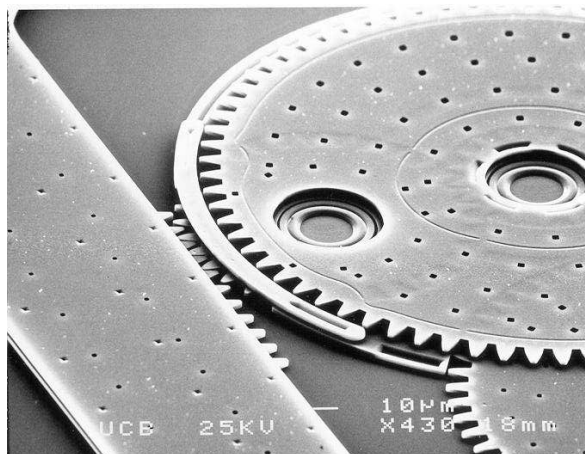
# Hljóðnemi



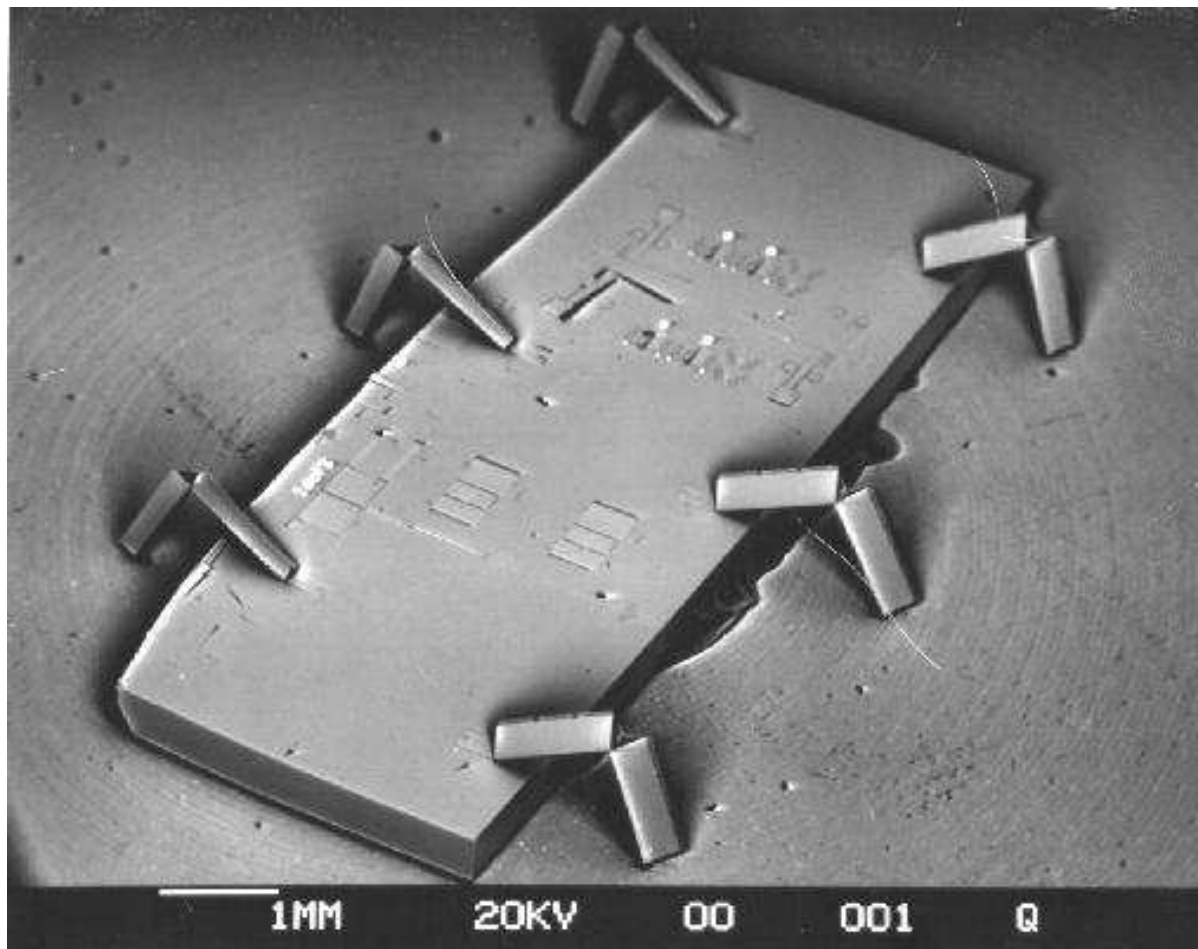
Bishop et al., *Physics Today*, **54** (October 2001) 38 – 44

- 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

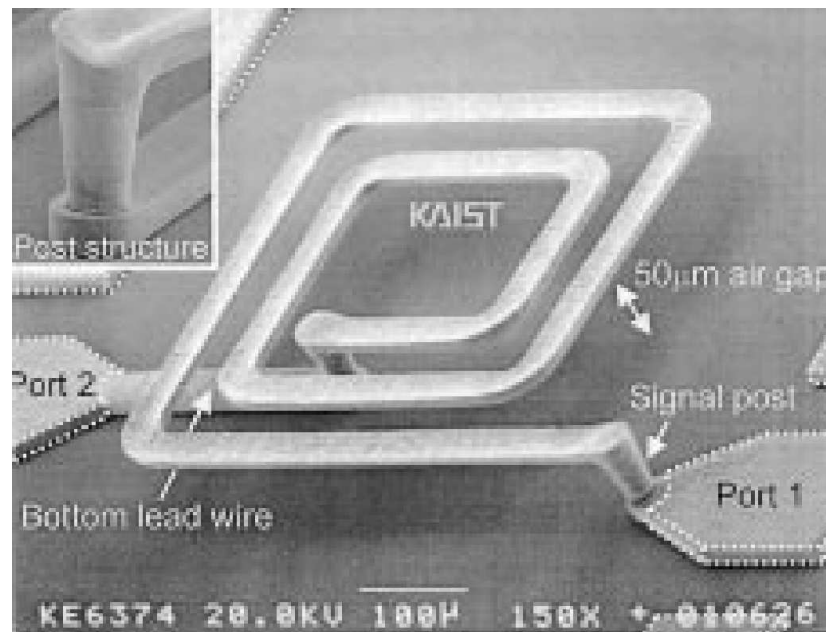


# Örmaur





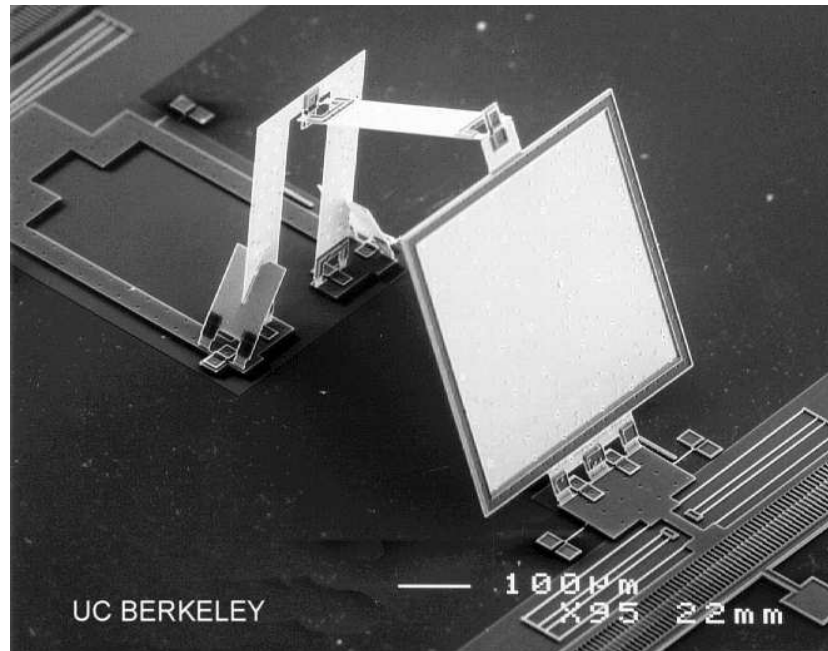
# Spóla



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

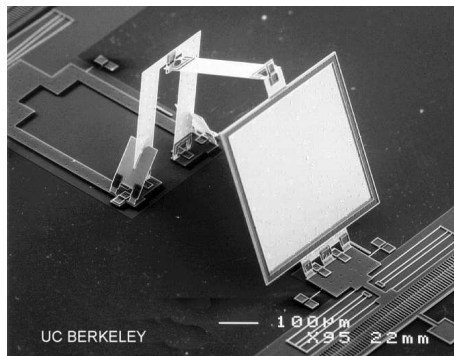
# Örspeglar



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

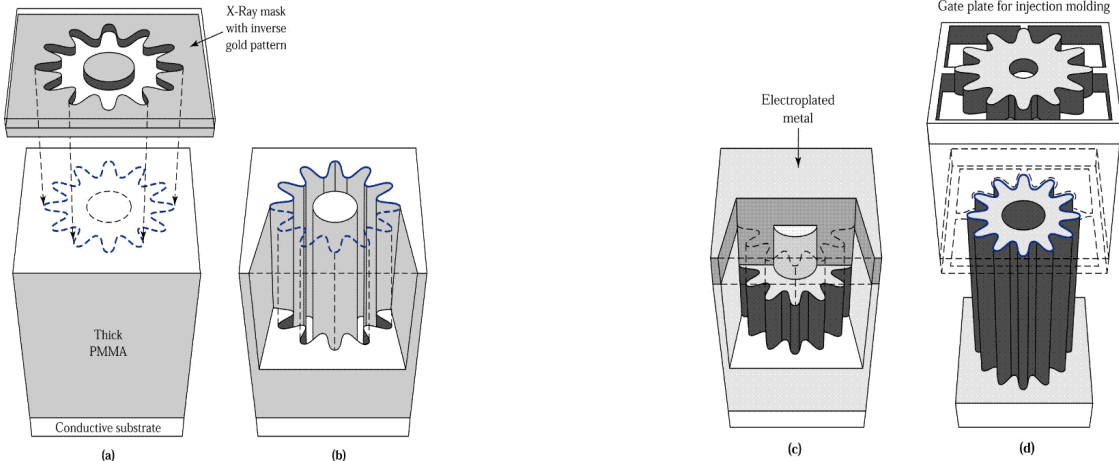


- Þegar örörvakambur er samþættur á sömu flögu þá má ná fram samfelldri og nákvæmri stillingu á stöðu spegilsins
- Dæmi um hagnýtingu:
  - háttarlæstir hálfleiðaraleysar með stillanlegri tíðni
  - leysar með stillanlega bylgjulengd í ytra hermiholi
  - leysar með tengdum hermiholum (þrír speglar)

## LIGA

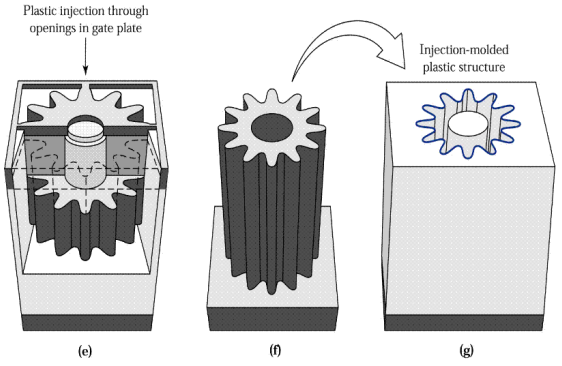
- Ein framleiðslutækni örtóla er LIGA tæknin
- LIGA stendur fyrir lithographic, galvanoformung, abformung
- Aðferðin samastendur af þremur grunn ferlum lithography, rafhúðun (e. electroplating) og mótun (e. molding)
- LIGA þarfnast röntgengeislunar frá samhraðli (e. synchrotron)
- Með þessari tækni má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

# LIGA



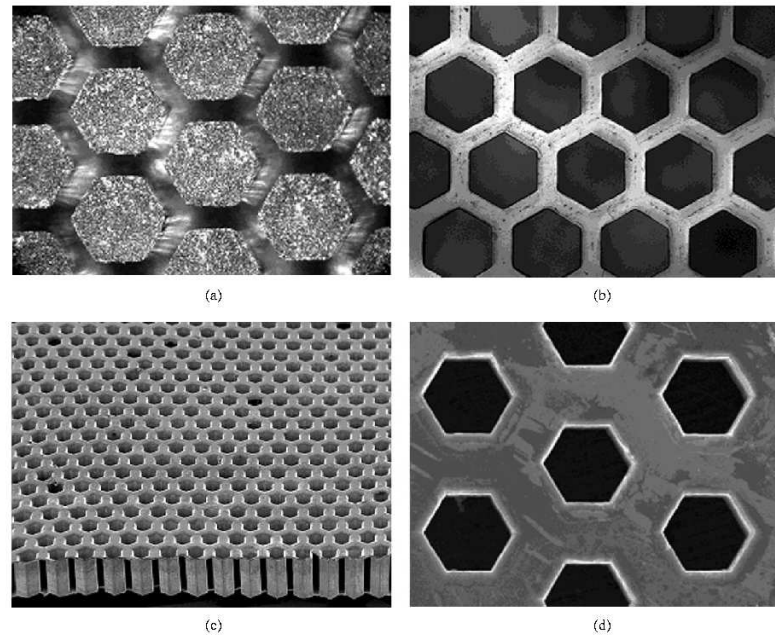
*Semiconductor Devices, 2/E by S. M. Sze*  
Copyright © 2002 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

*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.

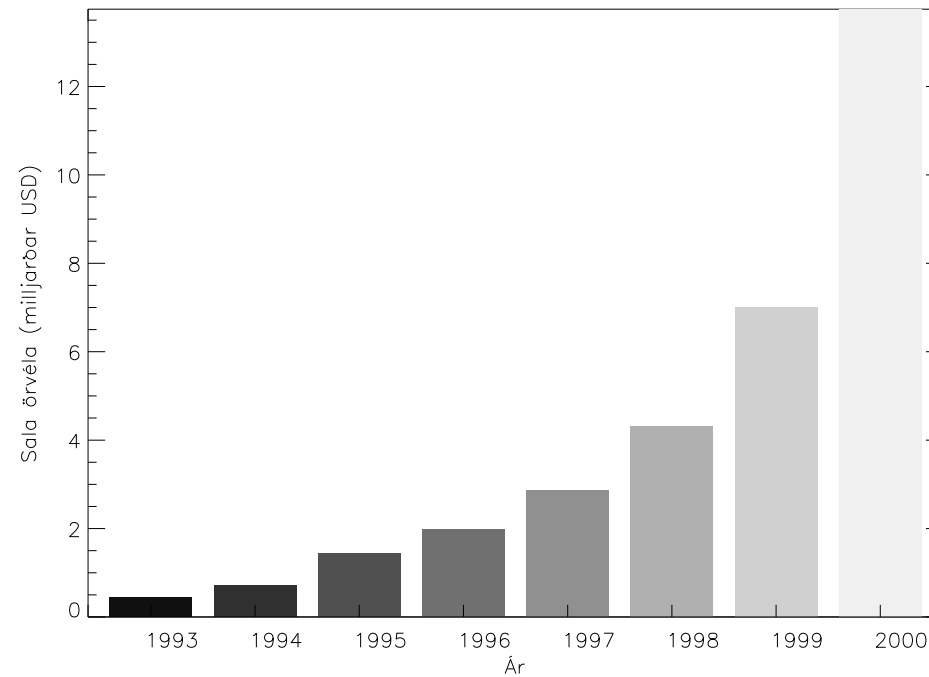
# LIGA



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  $1 \text{ mm}$

# 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