

Smárásir:

# Örörvar og örnemar

Kaflí 18

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

14. vika vor 2010

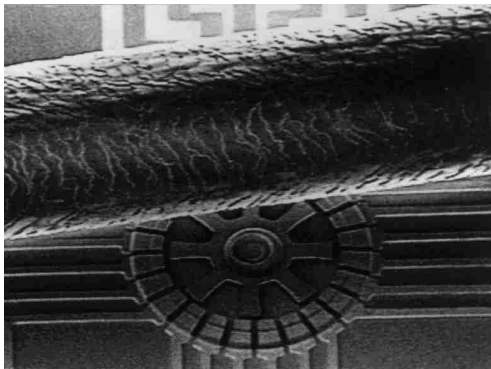
1

## 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)

2

## Örtækni



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

3

## Örtækni

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

4

## Örtækni

- Mógulegt 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

5

## 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

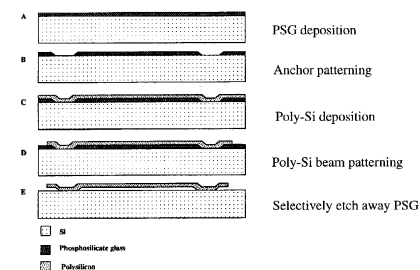
6

## Örtækni

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

7

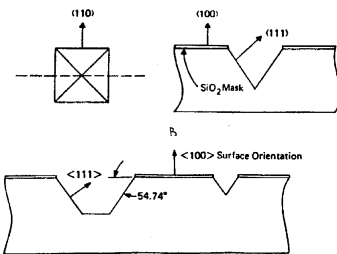
## Örtækni



- 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

8

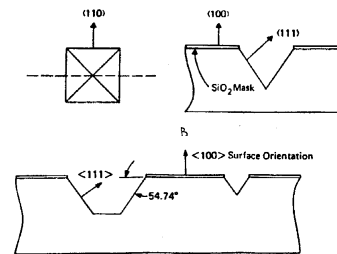
## Örtækni



- 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

9

## 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. hálbættu svæði

10

## 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 Pittsburgh og þá notaðar málmhúðir

11

## Örtækni

- Á fyrri hluta níunda áratugarins fóru vísindamenn við Kaliforníuháskóla í Berkeley að nota kísiloxíð sem fórnarlag og fjölkristallaðan kísil sem byggingarefni (burðarefni)
- Þessar 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 fjarlægt og þróuðu aðferð til að mynda lokuð holurúm (hermihol)

12

## 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))

13

## 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
- Ryköggn á yfirborði spegils er því haldið þar með rafstöðukrafti sem er mun sterkari en þyngdaraflið

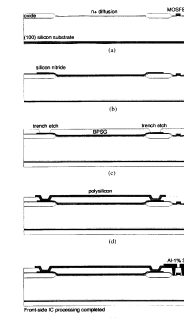
14

## Aflfræði örvéla

- Hlutfallið milli álagðrar spennu og tognunar, stuðull Young, er þá lykkillinn að hönnun örvéla
- Núnungur 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 ?

15

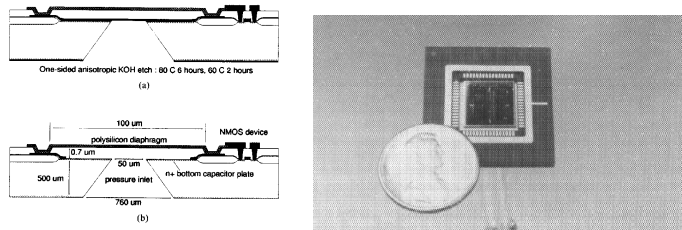
## Þrýstinemi - rýmdarbreyting



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

16

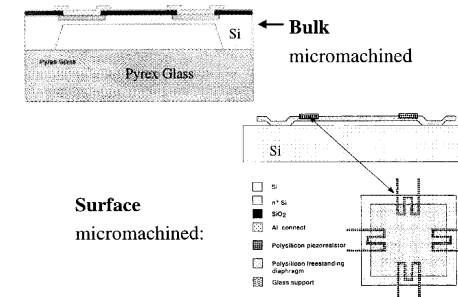
## Þrýstinemi - rýmdarbreyting



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

17

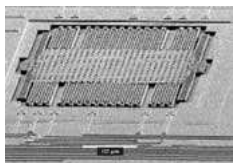
## Þrýstinemi



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

18

## Hröðunarskynjun

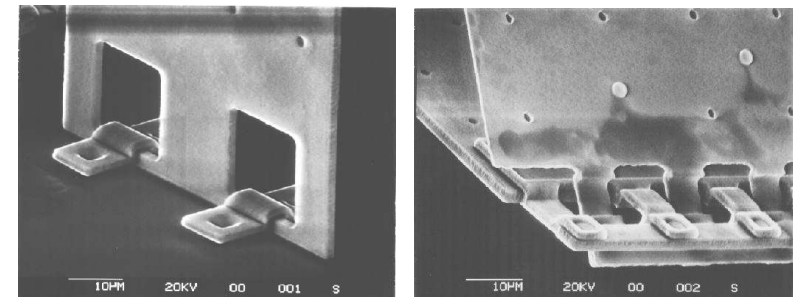


Bishop et al., *Physics Today*, 54 (October 2001) 38 - 44

- 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

19

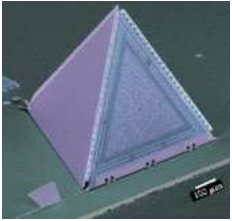
## Örhjarir



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

20

## Hljóðnemi

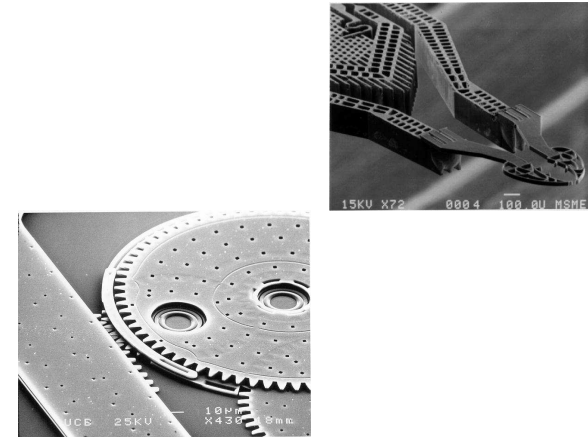


Bishop et al., *Physics Today*, 54 (October 2001) 38 – 44

- 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

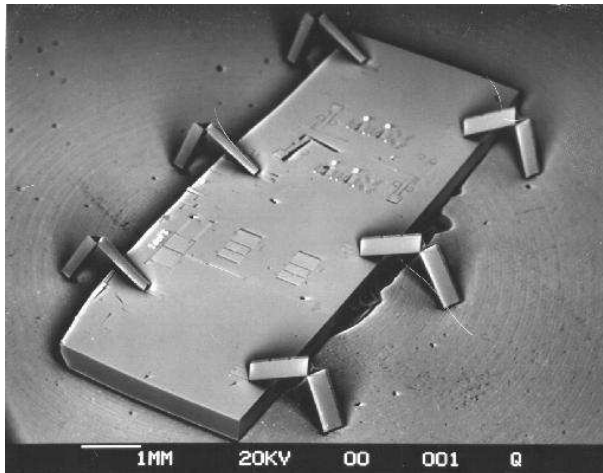
21

## Örvélar



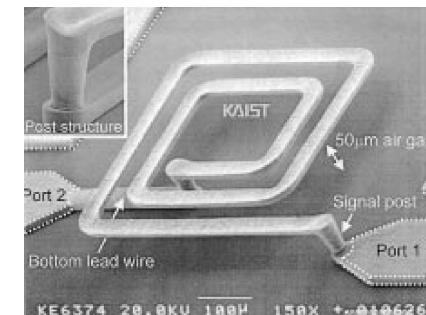
22

## Örmaur



23

## Spóla

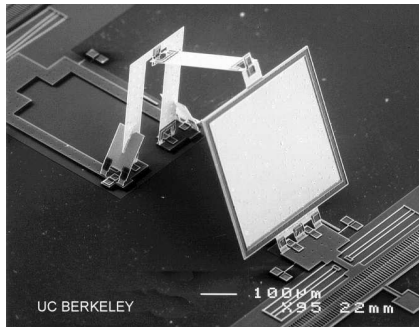


Yoon et al. *IEEE Electron Device Letters*, 23 (2002) 591–593

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

24

## Örspeglar

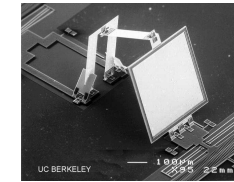


Meng-Hsiung Kiang, Olav Solgaard, Richard S. Muller, and Kam Y. Lau, *IEEE Photonics Technology Letters*, 8 (1996), 95–97

- Örspeglar hannaðir til notkunar fyrir ytra hermihol í hálfleiðaraleysisieiningu

25

## 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 (þrjú speglar)

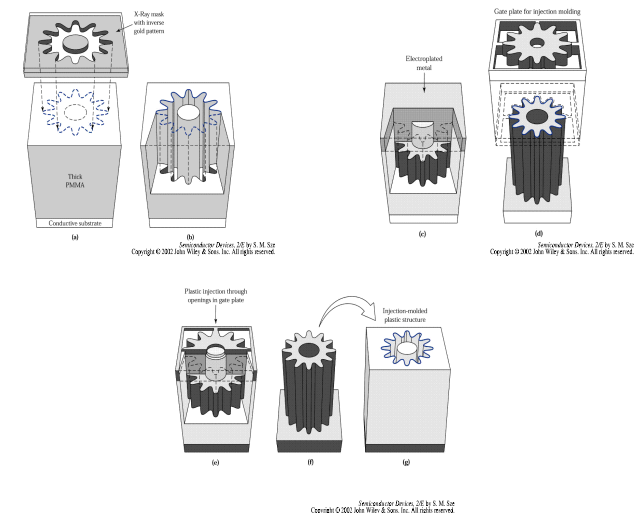
26

## 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

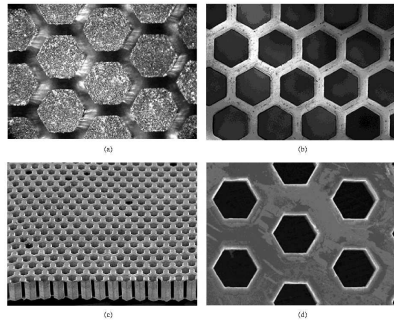
27

## LIGA



28

## LIGA

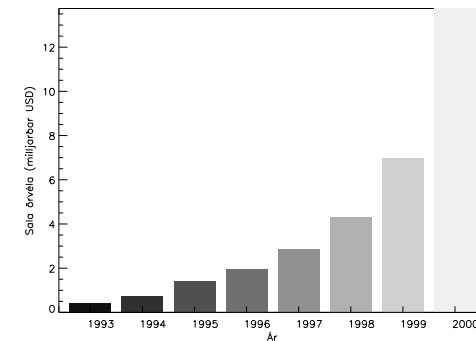


Harris et al. (2002)

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

29

## Markaður



- Heimsmarkaður fyrir örvélar
- Örnemar og örörvar hafa ýmsa hagnýtingu

30

## 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-II 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

31