

Nóbelsverðlaunin í eðlisfræði 2009 og óvæntar uppljóstranir

Kristján Leósson

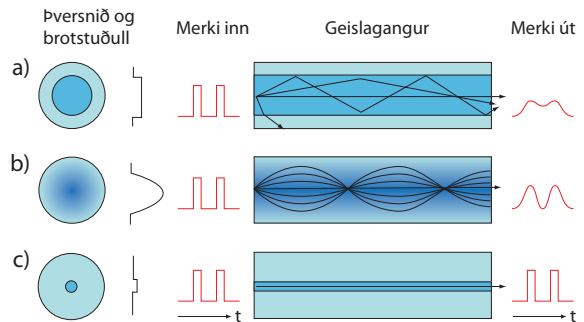
Raunvísindastofnun Háskólans, Háskóla Íslands

Nóbelsverðlaunin í eðlisfræði árið 2009 hlutu Charles K. Kao, Willard S. Boyle og George E. Smith, fyrir tvær uppgötvanir í ljósfræði sem m.a. eru mikilvægar í upplýsingatækni og hafa gjörbreytt daglegu lífi margra. Hér er annars vegar um að ræða flutning á ljósmerkjum yfir langar vegalengdir eftir ljósleiðara og þróun stafrænu myndflögunnar hins vegar. Helming verðlaunanna hlaut Kao fyrir hlutverk sitt í þróun ljósleiðarans sem hefur gjörbylt allri fjarskiptatækni, en Boyle og Smith deildu hinum hluta verðlaunanna fyrir að finna upp CCD (e. charge coupled device) tæknina sem lagði grunninn að stafrænni myndatöku.

Charles K. Kao (f. 1933) hlaut doktorsgráðu í rafmagnsverkfræði frá Lundúnaháskóla árið 1965. Á þeim tíma var ákaft leitað leiða til að flytja ljósmerki milli staða á skilvirkan hátt, sérstaklega eftir að lasertæknin kom fram á sjónarsviðið (Nóbelsverðlaun í eðlisfræði 1964). Hin aldagamla hugmynd að leiða ljós með alspeglun í gegnsæju efni (t.d. vatni eða gleri) þótti ekki lofandi fyrir fjarskiptatækni vegna þess hve mikið af ljósinu tapast í efninu, vegna ísogs og dreifingar (e. scattering). Tilraunir höfðu



Charles K. Kao Willard S. Boyle George E. Smith



Mynd 1. Nokkrar tegundir ljósleiðara: (a) Fjölhátta ljósleiðari (b) Fjölhátta ljósleiðari með breytilegum brotstuðli (c) Einhátta ljósleiðari.

þó verið gerðar með ljósleiðandi glerþræði úr tvenns konar gleri, þar sem kjarni ljósleiðarans hefur hærri brotstuðul en kápan sem umlykur kjarnann (mynd 1a). Samkvæmt lögmáli Snell verður ljós með nægilega stórt innfallshorn bundið í kjarna ljósleiðarans vegna alspeglunar á skilfleti þessara efna.

Í tilraunum á þessum tíma var dæmigert að 99% af styrk ljósmerkisins tapaðist eftir 20 metra ferðalag í slíkum glerþræði. Að auki ferðuðust mismunandi sveifluhættir í þessari gerð ljósleiðara á ólíkum hraða sem takmarkaði þá tíðni sem hægt var að móta merkið á (sjá mynd 1a). Tilraunir höfðu einnig verið gerðar með ljósleiðara úr efni með breytilegan brotstuðul (mynd 1b), sem minnkaði áhrif vegna hraða ólíkra sveifluhátta nokkuð. Ljóst var þó að til að hámarka flutningsgetu ljósleiðarans þyrfti að hafa kjarna sem ekki væri meiri en nokkrir míkrómetrar í þvermál þ.a. hann gæti aðeins borið einn sveifluhátt (mynd 1c) og ljósmerkið ferðaðist þar af leiðandi á vel skilgreindum hraða.

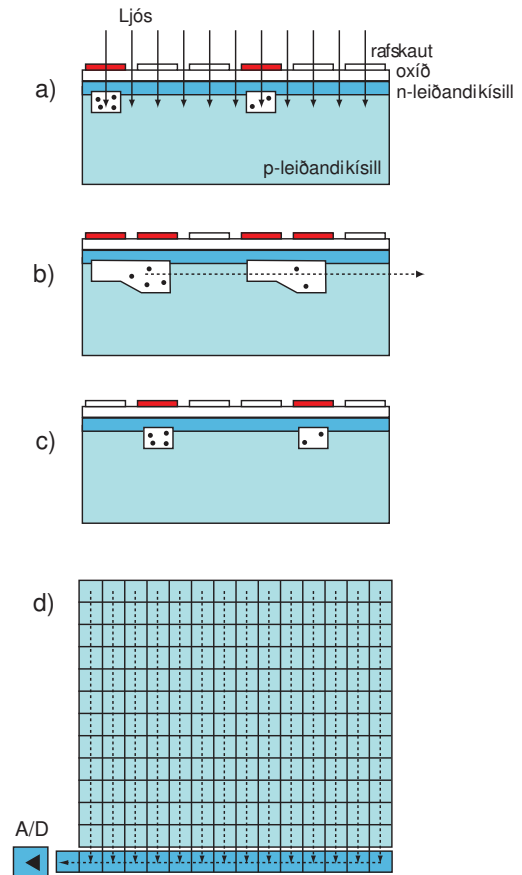
Kao og samstarfsmaður hans, G.A. Hockham, gerðu sér grein fyrir að tap í ljósleiðara gæti verið miklum mun lægra en nokkrum hafði tekist að mæla, ef glerið væri nægilega hreint. Í mikilvægri grein sem birtist árið 1966 [1] veltu þeir fyrir sér áhrifum ísogs og dreifingar og spáðu því að hægt væri að framleiða ljósleiðara sem borið gæti ljós marga kílómetra ef tækist að losna við óhreinindi úr glerinu, sérstaklega málmjónir. Í greininni spáðu þeir því að ljósleiðarar gætu orðið raunhæfur kostur til að flytja mikið magn upplýsinga með litlum efniskostnaði.

Kao gerði sér grein fyrir að hreint kísiloxíð (e. fused silica) væri heppilegt efni fyrir ljósleiðara

en í upphafi var ekki vandalaust að framleiða úr því langa örmjóða þræði. Glerframleiðandinn Corning sýndi hugmyndinni þó áhuga og varð fljótt leiðandi í þróun framleiðsluferlisins. Innan nokkurra ára hafði tekist að leiða ljós á nær-innrauða sviðinu (850 nm bylgjulengd) með 60% tapi fyrir hvern kílómetur. Með því að nota ljós með enn lengri bylgjulengd var hægt að minnka tap vegna dreifingar (þ.e.a.s. Rayleigh-dreifingar) umtalsvert. Nú til dags er bylgjulengdarsviðið kringum 1550 nm allsráðandi fyrir samskipti yfir langar vegalengdir, en sé bylgjulengdin aukin frekar tapast ljósið hratt vegna ísogs í glerinu. Hefðbundið ljósleiðarakerfi hefur um 5% tap/km og getur flutt gríðarlegt magn upplýsinga — nýlega var t.d. sýnt fram á 640 Gbit/s gagnaflutning í einum ljósleiðara á einni burðarbylgjulengd [2].

Hinum helmingi Nóbelsverðlaunanna deildu Willard S. Boyle og George E. Smith fyrir uppgötvun svokallaðrar CCD tækni. Boyle (f. 1924) lauk doktorsprófi í eðlisfræði frá McGill háskóla í Kanada árið 1950 en Smith (f. 1930) lauk doktorsprófi í eðlisfræði frá Chicago háskóla 1959. Boyle og Smith störfuðu saman á rannsóknastofu Bell fjarskiptafyrirtækisins í New Jersey þar sem þeir leituðust við að finna leiðir til að geyma og lesa út rafhleðslu í hálfleiðararás-um. Tilgangurinn var að hanna rafrænt minni sem keppt gæti við svokallað segulbóluminni (e. magnetic bubble memory) sem var í þróun hjá annarri deild rannsóknastofunnar. Á stuttum fundi árið 1969 rissuðu Boyle og Smith upp rás þar sem stakir smáar (transistorar) voru notaðir til að geyma rafhleðslu. Með spennupúlsum á þar til gerðum rafskautum milli smáanna mátti flytja hleðslur af einni röð smára yfir á þá næstu í heilu fylki og lesa út hverja röð fyrir sig gegnum eina A/D breytu. Skammstöfunin CCD (e. charge-coupled device) vísar til þessarar hleðslutílfærslu. Smith og samstarfsmenn hans gáfu út tvær mikilvægar greinar á árinu 1970, eina sem lýsir CCD tækninni [3] og aðra þar sem virkni hennar er sönnuð með tilraunum [4].

Starfsmenn hjá Bell höfðu einnig unnið að þróun stafrænnar myndatöku og þeim reyndist auðvelt að nýta hina nýju tækni til að safna hleðslu frá fylki af ljósnemum og breyta upplýsingunum í stafræna mynd. Kísilflagan hentaði vel í þessu tilfelli þar sem hún er næm fyrir ljósi á sýnilega sviðinu og tæknin til að örva rafstraum með ljósi í hálfleiðurum var vel þekkt. Sambærilegar aðferðir eru notaðar í sólarzell-



Mynd 2. Hleðslutílfærsla í CCD myndflögu. Sjá nánari útskýringar í texta.

um til að framleiða rafmagn með hjálp sólarljóss. Í grófum dráttum má líta á flöguna sem samskeyti p-leiðandi og n-leiðandi hálfleiðara, með einangrandi lagi og málmvírum ofaná, eins og sýnt er á þverskurðarmynd 2a. Ljós sem lýsir á flöguna örvar hleðslur á p–n samskeytunum sem má fanga í mættisbrunnnum með því að leggja rafspennu á vírana. Stærð hleðslunnar sem safnast er háð ljósstyrk, bylgjulengd og lýsingartíma. Spenna er síðan sett á nærliggjandi rafskaut til að draga hleðsluna yfir í næstu röð (myndir 2b og 2c) og þannig koll af kalli. Í hverri umferð er neðstu röðinni í fylkinu hliðrað hornrétt á sambærilegan hátt (mynd 2d) og hleðslu frá hverjum brunni þannig breytt í stafrænt merki.

Eftir að Nóbelsverðlaunin í eðlisfræði 2009 voru veitt hefur Michael F. Tompsett, einn höfunda síðarnefndu greinarinnar frá 1970, lýst því yfir [5] að

hann sé upphafsmaður stafrænu myndflögunnar sem Smith og Boyle hafa fengið heiðurinn af. Tompsett heldur því fram að Smith og Boyle hafi hugsað CCD tæknina eingöngu sem leið til að geyma upplýsingar, svipað og ofangreint segulboluminni. Hvorug tæknin náði þó að festast í sessi sem slík þar sem seguldiskar urðu fljótt allsráðandi sem stafrænn geymslumiðill. Tompsett sótti hins vegar um einkaleyfi á stafrænni CCD myndflögu [6], án þátttöku Smith eða Boyle. Hugsanlegt er því að konunglega sænska vísindaakademían hafi hlaupið á sig með því að veita aðeins þeim síðarnefndu Nóbelsverðlaun fyrir „uppgötvun stafrænu myndflögunnar“ eins og ritað er í tilkynningu akademíunnar [7]. Að auki hafa deilur sprottið upp milli George E. Smith og annars fyrrum samstarfsmanns hjá Bell, Eugene Gordon, um uppruna hugmyndinnar að CCD tækninni [8].

Hvað sem þessum deilum líður er ljóst að CCD tæknin hefur haft veruleg áhrif á söfnun og geymslu stafrænna myndgagna undanfarna áratugi, m.a. í stafrænum ljósmyndavélum, farsímum og eftirlitsmyndavélum. Stafrænar myndavélar hafa einnig gjörbylt rannsóknum á mörgum sviðum, allt frá smásjármyndatöku til rannsókna á óráviddum alheimsins.

Heimildir

- [1] C.K. Kao, G.A. Hockham, *Proc. Inst. Electr. Eng.* **113**, 1151 (1966).
- [2] L.K. Oxenløwe, et al., *IEEE J. Lightwave Technol.* **27**, 205 (2009).
- [3] W.S. Boyle, G.E. Smith, *Bell Syst. Tech. J.* **49**, 587 (1970).
- [4] G.F. Amelio, M.F. Tompsett, G.E. Smith, *Bell Syst. Tech. J.* **49**, 593 (1970).
- [5] <http://spectrum.ieee.org/tech-talk/semiconductors/devices/nobel-controversy-former-bell-labs-employee-says-he-invented-the-ccd-imager> (sótt des. 2009)
- [6] Charge transfer imaging devices, US Patent Number 4,085,456
- [7] http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2009/press.html (sótt des. 2009)
- [8] <http://spectrum.ieee.org/tech-talk/semiconductors/devices/nobel-controversy-eugene-gordon-claims-he-gave-smith-the-idea-for-the-ccd> (sótt des. 2009)