

## » Povečanje moči svetlobe prinaša revolucijo v komunikacijah in avtonomni vožnji

**Jernej Kovač** Znanstveniki Švicarskega zveznega tehnološkega inštituta Lausanne (EPFL) so z uspešno vključitvijo redkih zemeljskih ionov v integrirana ftonska vezja izdelali kompakten valvodni ojačevalnik. Naprava daje rekordno izhodno moč v primerjavi s komercialnimi optičnimi ojačevalniki, kar je prvi dosežek v razvoju integrirane fotonike v zadnjih desetletjih.

Optični vlakenski ojačevalnik s primesjo erbija (angl. Erbium Doped Fiber Amplifier – EDFA) so naprave, ki lahko povečajo moč optičnega signala v optičnih vlaknih, ki se pogosto uporabljajo v optičnih kabljih za komunikacijo na dolge razdalje in laserjih na osnovi vlaken. EDFA so bili leta 1987 in so verjetno eden od najpomembnejših izumov, ki je močno vplival na našo informacijsko družbo in omogočil usmerjanje signalov čez Atlantik ter nadomestil električne repetitorje. Izum EDFA je omogočil uveljavitev sistemov z valovnodolžinskim razvrščanjem (angl. Wavelength Division Multiplexing – WDM), saj tovrstni ojačevalniki hkrati ojačijo vse WDM kanale.

Zanimivost erbijevih ionov v optičnih komunikacijah je, da lahko ojačijo svetlobo v območju valovne dolžine 1,55 mm, kjer imajo optična vlakna na osnovi silicijevega dioksida najmanjše izgube pri prenosu. Edinstvena elektronska struktura lupine intra-4-f erbija – in redkih zemeljskih ionov na splošno – omogoča dolgo živeča vzbujena stanja, če so primešani v gostiteljskih materialih, kot je steklo. To zagotavlja idealen ojačevalni medij za hkratno ojačitev več kanalov za prenos informacij, z zanemarljivimi navzkrižnimi motnjami, visoko temperaturno stabilnostjo in nizko stopnjo šuma.

Optično ojačevanje se uporablja tudi v skoraj vseh laserskih aplikacijah, od zaznavanja z vlakni in frekvenčnega meroslovja do industrijskih aplikacij, vključno z lasersko obdelavo in LiDAR. Danes so optični ojačevalniki, ki temeljijo na redkih zemeljskih ionih, postali gonilo optičnih frekvenčnih glavnikov, ki se uporabljajo za izdelavo najnatančnejših atomskih ur na svetu.

Z ojačitvijo svetlobe z redkimi zemeljskimi ioni v ftonskem integriranem vezju lahko spremenimo integrirano fotoniko. Že v devetdesetih letih prejšnjega stoletja so se v Bellovih laboratorijih (danes imenovanih Nokia Bell Labs) ukvarjali z valvodnimi ojačevalniki s primesmi erbija EDWA, vendar so jih na koncu opustili, ker se njihovo ojačenje in izhodna moč nista mogla kosati z ojačevalniki na osnovi vlaken, njihova izdelava pa ne deluje s sodobnimi tehnikami izdelave ftonskih integracij.

» Dr. John Lewis Hall je za prispevek k razvoju laserske precizne spektroskopije, vključno s tehniko optičnega frekvenčnega glavnika, leta 2005 prejel Nobelovo nagrado za fiziko. V skladu s kvantno fiziko se svetloba in druga elektromagnetna sevanja pojavljajo v obliki kvantov, paketov s fiksnimi energijami, ki ustrezajo tudi energijskim prehodom v atomih. Določanje frekvence svetlobnih valov zato omogoča informacije o lastnostih atomov, merila za čas in dolžino ter možnost določanja fizikalnih konstant. Okoli leta 2000 sta dr. Hall in dr. Theodor Hänsch razvila tehniko frekvenčnega glavnika, pri kateri se za zelo natančno merjenje frekvenc uporablja laserska svetloba z vrsto enako oddaljenih frekvenc. Foto: Sears.P.Studio (Nobel Laureate PHYSICS 2005 © The Nobel Foundation)



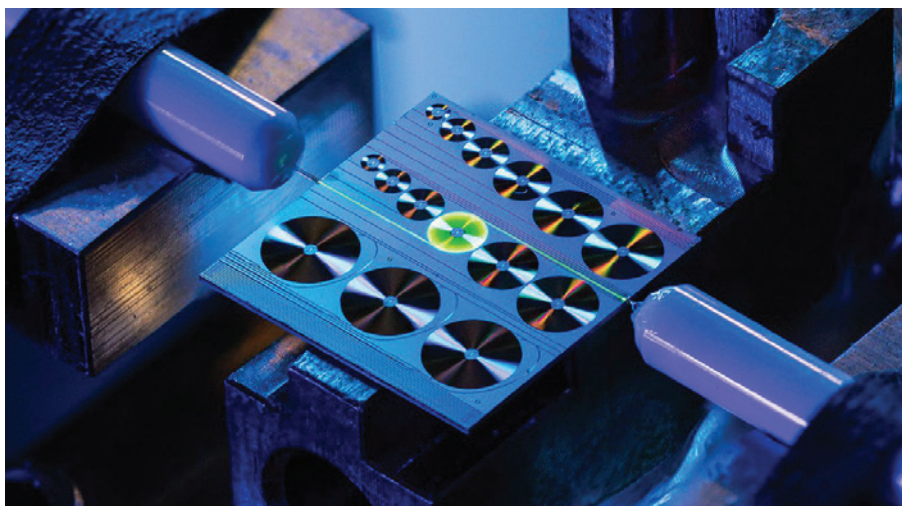
Tudi ob nedavnem vzponu integrirane fotonike so s ponovnimi prizadevanji za ojačevalnike EDWA dosegli le manj kot 1 mW izhodne moči, kar je premalo za številne praktične aplikacije. Težava je bila visoka izguba ozadja v valvodu, visoka kooperativna nadkonverzija, ki je pri visoki koncentraciji erbija dejavnik, ki omejuje povečanje, ali dolgotrajen izziv pri doseganju metrskih dolžin valvodov v kompaktnih ftonskih čipih.

Raziskovalci na EPFL pod vodstvom vodje tamkajšnjega Laboratorija za fotoniko in kvantne meritve dr. Tobiasa J. Kippenberga so zdaj na podlagi ftonskih integriranih vezij iz silicijevega nitrida ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) zgradili EDWA dolžine do pol metra na milimetrski površini. Ta ustvarja rekordno izhodno moč več kot 145 mW in zagotavlja neto ojačenje pri majhnih signalih nad 30 dB, kar pomeni več kot 1000-kratno ojačitev v telekomunikacijskem pasu pri neprekinjenem delovanju. Dosežena zmogljivost je enaka komercialnim

vrhunskim ojačevalnikom EDFA in naj-sodobnejšim heterogeno integriranim polprevodniškim ojačevalnikom III-V v silicijevi fotoniki.

»Dolgoletni izziv smo premagali z uporabo ionske implantacije – postopka v obsegu rezin, ki ima koristi od zelo nizke posredne nadkonverzije tudi pri zelo visoki koncentraciji ionov – za fotonska vezja, integrirana v silicijev nitrid z izjemno nizkimi izgubami.« je poudaril dr. Yang Liu, raziskovalec v Kippenbergovem laboratoriju in prvi avtor študije objavljene v znanstveni reviji Science. »Ta pristop nam omogoča doseganje nizkih izgub, visoke koncentracije erbij in velikega faktorja prekripanja med ioni v kompaktnih valovodih z metrsko dolžino, ki so bili prej desetletja nerešeni,« je dodal Zheru Qiu, doktorski študent in soavtor študije.

Dr. Kippenberg je prepričan, da delovanje z visoko izhodno močjo in visokim ojačenjem ni zgolj akademski dosežek: »Dejansko je ključnega pomena za praktično delovanje vsakega ojačevalnika, saj pomeni, da lahko kateri koli vhodni signali dosežejo ravni moči, ki zadostujejo za hiter prenos podatkov na dolge razdalje in zaznavanje z omejenim šumom.« To prav tako pomeni, da je s tem pristopom končno mogoče uporabiti femtosekundne laserje z visoko energijo pulza na čipu.



» Erbijev valovodni ojačevalnik na fotonskem integriranem čipu. Foto: EPFL Laboratorija za fotoniko in kvantne meritve /Niels Ackerman

Ta preboj naznanja renesanso ionov redkih zemljin kot učinkovitega nosilca ojačitve v integrirani fotoniki, saj so aplikacije EDWA praktično neomejene, od optičnih komunikacij in LiDAR za avtonomno vožnjo do kvantnega zaznavanja in pomnilnikov za velika kvantna omrežja. Pričakuje se, da bo to spodbudilo nadaljnje študije, ki bodo zajele še več redkih zemeljskih ionov, ki ponujajo optično ojačenje od vidnega do srednjega infrardečega dela spektra in še večjo izhodno moč.

**ITS d.o.o.**  
industrijski tehnološki sistemi

**Siemens NX – povsem vodilna rešitev za integrirano proizvodno okolje**

Solution Partner

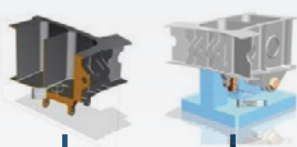
**SIEMENS**

PLM

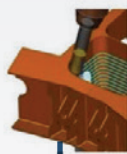
Multi - CAD Design



Priprava modela za NC obdelavo



CAM



DNC



Verifikacija CNC



CNC



PRODUCT DESIGN

MANUFACTURING ENGINEERING

SHOP FLOOR PRODUCTION

TEAMCENTER DATA AND PROCESS MANAGEMENT



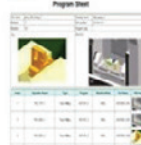
3D Model, PMI, CAE ...



CMM programiranje



Knjižnice orodij



Informacije za proizvodnjo



Upravljanje z orodji



CMM preverjanje