

REVOLUCIJA LASERA I OPTIČKIH VLAKANA



Staklena vlakna, tanka poput vlasí kose, osnova su sistema komunikacija zasnovanog na optici. Tipični provodnik koji sadrži 100 ili više optičkih vlakana može imati više od 40 000 kanala za prijenos glasa.

Nalazite se u San Francisku na službenom putovanju, 23 su sata i 30 minuta, željeli biste provjeriti poruke pristigle u vaš ured u Virginiji. Prvo, preslušate glasovne poruke na svom telefonu telefona. Nakon toga, priključite vaše prijenosno računalo u telefonski priključak koji se nalazi u vašoj hotelskoj sobi, stisnete nekoliko tipki i izaberete neku od poruka pristiglih elektronskom

poštom, npr. od potencijalnih klijenata iz Južne Afrike, sestre iz Albuquerquea ili poslovnog udruženja iz Detroita. Prije nego što odgovorite na pristigle poruke, na brzinu se priključite na Internet, jer trebate pronaći ime "news" grupe koju ste spomenuli čovjeku iz Detroita i naslov knjige koju biste željeli preporučiti sestri. Još samo nekoliko udaraca po tipkama tipkovnice i vaša elektronska pisma već stižu u Albuquerque i Detroit. Nadalje, znajući da je zbog razlike u vremenskim zonama u Južnoj Africi već započeo novi radni dan nazovete Južnu Afriku.

Tek 10 godina unatrag ovakva, gotovo trenutačna, globalna komunikacija nije bila moguća. Kritični dijelovi računalne i komunikacijske tehnologije su se tada upravo bili pojavili. Tada, 1988. godine, postavljen je prvi optički prekoatlanski kabel, čime se je ideja o stvaranju "informatijskog autoputa" sve više bližila stvarnosti.

Optička vlakna tvore okosnicu svjetskog telekomunikacijskog sistema. Ovi po svemu posebni stakleni pramenovi -tanji od ljudske kose, ali po jedinici duljine jači od čelika- napravljeni su za prenošenje ogromne količine podataka pomoću relativno novog načina širenja svjetlosti -dobro fokusirane laserske zrake. Laseri i optička vlakna zajedno, dramatično su povećali kapacitet međunarodnog telefonskog sistema. S jednako impresivnim poboljšanjima u kompjuterskoj tehnologiji, nova je komunikacijska tehnologija uzrokovala eksponencijalni rast pojave nazvane Internet.

Ovaj članak opisuje principe i razvoj tehnologija lasera i optičkih vlakna, koje omogućavaju prijenos svjetlosnih signala na velike udaljenosti. On opisuje kako fundamentalna istraživanja, u ovom slučaju, ona koja počinju s istraživanjem Alberta Einsteina u području kvantne mehanike, mogu dovesti do značajnih praktičnih primjena. Taj je put, kao i obično, put pun stranputica i iznenadnih prodora, koji se ne mogu predvidjeti na početku istraživanja.

POMOĆ PREKO INTERNETA

U travnju 1995. godine mlada kineska studentica ležala je u Beijing bolnici na samrti. Bila je u komi i iako su liječnici napravili mnoge pretrage, nikako nisu mogli otkriti što ju ubija. Njezin prijatelj, u očaju, poslao je SOS poruke s opisom simptoma svim medicinskim elektronskim stranicama i adresama pronađenim putem Interneta -stalno rastući internacionalni niz povezivanja kompjutera preko telefonskih linija. Liječnici cijelog svijeta koji redovito prate medicinske elektronske stranice i elektronsku poštu odmah su odgovorili.

U Washingtonu, D.C., Dr. John Aldis, liječnik zaposlen u jednoj službi vlade Sjedinjenih Američkih Država vidio je poruku iz Kine. Nedavno je radio u Bejingu i poznao je liječnika bolesne studentice. Putem Interneta prosljedio je poruku svojim kolegama u cijeloj Americi. Ubrzo se je cijeli internacionalni skup liječnika priključio diskusiji putem elektronskih medija. Ubrzo si se svi složili - djevojka je možda otrovana talijem, metalom koji je veoma sličan olovu. Laboratorij u Bejingu potvrdio je tu dijagnozu –koncentracija talija u tijelu djevojke bila je 1000 puta veća od normalne koncentracije talija u tijelu zdravog čovjeka. Daljnjom komunikacijom putem elektronske pošte (e-mail) predložen je tretman oporavka s vremenom prilagođavan. Djevojka se je polako počela oporavljati. Nakon više od godinu dana, medicinska međunarodna zajednica još je uvijek pratila njezino zdravstveno stanje putem elektronskih medija koji su joj spasili život. Ovom je istinitom pričom povećana vjera društva u svjetsku komunikacijsku mrežu, koja nas jednako lako može povezati s osobom u susjednom gradu kao i s osobom koja se nalazi na pola puta oko svijeta. Ljudi različitih načina života svakodnevno koriste telefone da bi npr. riješili nekakav problem, ugovorili sastanak, prebacili novac s jednog računa na drugi ili zaposlili novog radnika. Uz obične telefone ovakvi se poslovi mogu obavljati i pomoću mobitela, faksom ili priključivanjem na Internet pomoću kompjutera. Veoma veliki kapacitet telefonskih linija koji omogućava rast ovakvog načina komuniciranja pojavio se je tek nedavno. Sjedinjene Američke Države imaju razvijenu vlastitu telefonsku mrežu već više od stoljeća, međutim probleme su im stvarali preookeanski pozivi. Nekoliko godina nakon Drugog svjetskog rata, pozivi za Evropu i Aziju zasnivali su se na odbijanju kratkovalnih radio signala od ionosfere, električki aktivnog sloja atmosfere koji se nalazi između 80 i 400 kilometara iznad površine Zemlje. Na takvim telefonskim centralama radnicima su ponekad bili potrebni sati rada za uspostavljanje razgovora od 3 minute, a signal se jedva razaznao u velikom šumu. 1956. godine postavljen je prvi prekoatlanski bakreni, žičani kabel koji je omogućavao 36 istovremenih poziva –dobar razlog za slavlje onda, beznačajna brojka danas. U ranim 60-tim slijedili su novi kablovi, prekomorski telefonski razgovori dostigli su brojku od 5 miliona poziva na godinu. Sredinom 60-tih započinje komunikacija putem satelita, pa do 1980. telefonski sistem broji nekih 200 miliona prekomorskih poziva na godinu. Ograničenja postojeće tehnologije postajala su kristalno jasna kako je potražnja telekomunikacijskih sistema bivala sve veća. No tek krajem osamdesetih godina urodili su plodom napori u traganju za "komunikacijskim Zlatnim Kovčegom" –komuniciranje pomoću svjetlosti.

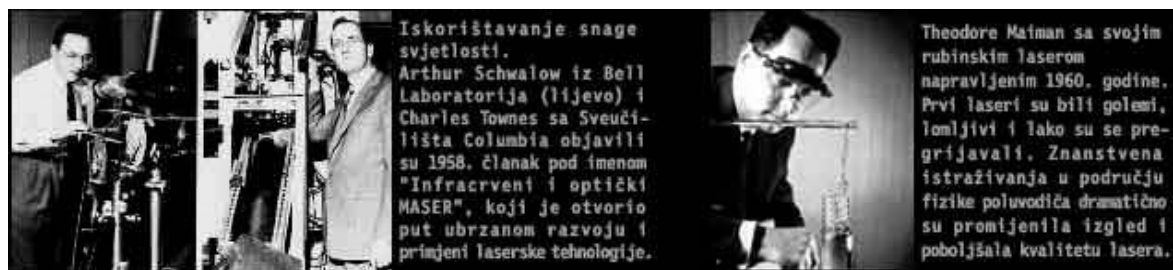
KORIŠTENJE VIDLJIVE SVJETLOSTI

Svi oblici moderne komunikacije, radio i televizijski signali, telefonski razgovori, kompjuterski podaci, zasnivaju se na signalu nosiocu, valu s elektromagnetskom oscilacijom određene frekvencije. Elektromagnetski signali opisuju se pomoću njihove valne duljine (udaljenost između dva brijega u valu) ili frekvencije (izražene u hertzima, broj oscilacija u sekundi); gdje kraća valna duljina znači veću frekvenciju. Modulirajući val nosilac, možemo kodirati informaciju koju želimo prenijeti; što je viša frekvencija vala nosioca signal može sadržavati više informacija.

Bakrena žica pogodna je za prijenos signala male frekvencije, 1 MHz (megahertz) ili 1 milion oscilacija u sekundi, što je dovoljno za nekoliko desetina govornih kanala. Za signale viših frekvencija električni otpor bakrene žice bitno poraste. Koaksijalni kablovi koji se sastoje od vodiča opletenog žicom, koja štiti signal od interferencije, se nakon

Drugog svjetskog rata masovno koriste za glavne linije među gradovima. Oni mogu prenositi signale frekvencije do 10 GHz (gigahertz) ili 10 biliona oscilacija u sekundi. Nažalost, postavljanje koaksijalnih kablova na velike udaljenosti relativno je skupo. Satelitski i zemaljski mikrovalni sistemi koji rade sa signalima od 40 GHz, također su počeli dostizati svoju praktičnu granicu u kapacitetu prijenosa informacija po kanalu. Na ideju o korištenju vidljive svjetlosti kao komunikacijskog medija došao je krajem 1870. godine Alexander Graham. Međutim on nije imao mogućnost kreiranja vala nosioca potrebne frekvencije ili prijenosa svjetlosti iz točke u točku. 1960. godine izumom lasera, ideja Alberta Einsteina poznata još od prije 40 godina dobila je praktičnu primjenu. Ovo dostignuće pokrenulo je istraživače u naporu da pronađu način na koji bi se vidljivo svjetlo moglo iskoristiti kao komunikacijski medij. I, uistinu, nakon nekoliko godina, pojavila su se optička vlakna.

FIZIKA DVADESETOG STOLJEĆA



Istraživanja koja su prethodila nastanku lasera proizlaze iz grane fizike poznate pod imenom kvantna mehanika. 1900. godine Max Planck je postavio hipotezu da pobuđeni atom zrači energiju u diskretnim paketima, koje je nazvao kvantima, a ne kontinuirano kao što je to objašnjavala tada raširena teorija elektromagnetskog zračenja. Planck nije nikada nastavio rad na problemima koji su proizašli iz njegove teorije. Međutim, 5 godina kasnije to napravio Albert Einstein, iznoseći ideju o svjetlosti koja se ne sastoji od valova nego od energijskih paketa (kasnije nazvanih fotoni); što je veća frekvencija svjetlosti fotoni imaju više energije. On je opisao kako elektroni, pod nekim određenim uvjetima mogu apsorbirati i emitirati fotone. Ovaj znanstveni prodor koji će mu kasnije donijeti zasluženu Nobelovu nagradu, upotrijebio je za objašnjenje fotoelektričnog efekta (izboj elektrona iz materijala zbog upada svjetlosnog zračenja na materijal, prvenstveno vidljive svjetlosti).

S Einsteinovom teorijom svjetlosti kao čestice nisu se baš svi slagali; rasprave na tu temu nastavile su se slijedećih nekoliko desetljeća. Ali, čak prije nego su fizičari prihvatili ideju da je svjetlost istovremeno i val i čestica, Einstein je otkrio još jednu novu pojavu. Prema modelu atoma kojega je prikazao Niels Bohr u nizu članaka iz 1913. godine, elektron koji se giba oko jezgre ima određenu putanju (orbitalu) koja ovisi o energiji elektrona. Elektron može apsorbirati samo onu količinu energije koja mu je potrebna da iz jedne određene orbitale skoči u drugu orbitalu s većom energijom. Elektron emitira određenu količinu energije pri prelasku iz orbitale s većom energijom u orbitalu s nižom

energijom. Ovaj model objašnjava poznate spektre plinova, npr. neona i karakteristične boje pri gorenju izbojnih lampi kao što su lampe bazirane npr. na živi ili natriju.

Atomi koji se nalaze u pobuđenom stanju –što znači da njihovi elektroni naseljavaju orbitale viših energija- će se vjerojatno, spontanom putem spustiti u orbitale niže energije ili osnovno stanje, disipirajući pri tome energiju pohranjenu u atomu. U danom atomskom sistemu, spontana emisija nastaje nasumično, pa su i smjerovi širenja emitiranih fotona nasumični. Einstein je uočio da, ako se atomi u pobuđenom stanju sudare s fotonom prave energije (energije jednake razlici između energija višeg i nižeg stanja u atomu), taj sudar može uzrokovati određeni oblik emisijske lančane reakcije, pri čemu dolazi do povećanja intenziteta svjetlosti koja prolazi kroz sistem atoma –elektroni u želji da apsorbiraju dolazeći foton emitiraju onaj foton koji su već prethodno bili apsorbirali. Pri tome, emitirani fotoni imaju isti smjer kao i apsorbirani fotoni. Taj proces se naziva stimulirana emisija.

Trik je u tome što će pojačanje stimuliranom emisijom nastati samo onda kada u ukupnoj populaciji nekog atomskog sistema ima više atoma u pobuđenom stanju, nego atoma u stanju niže energije. Ovakva situacija je potpuno suprotna normalnoj raspodijeli naseljenosti u atomskom sistemu. Stimulirana emisija zahtijeva nešto što se zove inverzija naseljenosti; svi atomi se moraju umjetnim putem dovesti u pobuđeno stanje što se obično postiže izlaganjem svjetlosti.

Skočimo u 1951. godinu. U to doba Charlesa Townes koji je bio voditelj u Columbia University Radiation Laboratory, a radio je na istraživanjima u području mikrovalne fizike započetim nakon Drugog svjetskog rata. Townes je radio mikrovalnu spektroskopiju i žarko se je želio koristiti valove kraćih valnih duljina, onih u submilimetarskom području spektra. Da bi to mogao ostvariti, prvo je trebao smanjiti dimenzije mehaničkih oscilatora koji su se tada koristili za generiranje mikrovalova u centimetarskom području valnih duljina, problem koji je izgledao nerješiv dokle god nije pomislio na upotrebu molekula, umjesto atoma.

Tijekom iduće 2 godine, Townes je zajedno s Jamesom Gordonom i Herbertom Zeigerom radio na izgradnji takvog sistema. Napokon, pri kraju 1953. demonstrirali su rezultate svojih istraživanja. Snop molekula amonijaka poslali su u električno polje koje je otklonilo molekule s niskom energijom. Tada su molekule s visokom energijom poslali u drugo električno polje. Izlaganje drugom električnom polju uzrokovalo je da sve molekule amonijaka s visokom energijom gotovo istovremeno padnu u osnovno stanje, emitirajući pri tome mikrovalne fotone iste frekvencije i smjera širenja. Townes je napravu nazvao maser, pojačalo mikrovalova stimuliranom emisijom zračenja (microwave amplification by stimulated emission of radiation). Kako je Townes dalje nastavljao eksperimente s maserom, bilo je sve jasnije da do stimulirane emisije može doći i na mnogo kraćim valnim duljinama kao što su infracrveno valno područje ili čak vidljiva svjetlost. Riječ laser nastala je za jednu takvu napravu, a l je skraćenica za svjetlost (light). Nastojeći razviti što potpuniju teoriju laserske akcije, Townes je potražio pomoć od svog šurjaka, Arthura Schawlowa, fizičara u Bell Laboratories, jednom od vodećih centara za istraživanja u fizici i materijalima.

Krajem 1958. godine u vodećem znanstvenom časopisu fizike, Physical Review, pojavio se je Townes-Schawlow članak pod naslovom "Infracrveni i optički maseri". Članak je inspirirao znanstvenike da pokušaju napraviti laser i u lipnju 1960. fizičar Theodore

Maiman zaposlen u Aircraft Company istraživačkom laboratoriju uspio je napraviti laser koristeći sintetički rubin.

Zraka emitirana laserom puno je bolje fokusirana nego zraka koju emitira bilo koji drugi izvor svjetlosti, pa su zbog toga laseri odmah privukli pozornost. U jednom eksperimentu napravljenom 1962. laserska je zraka poslana na Mjesec, udaljen skoro 400 000 kilometara, gdje je obasjavala površinu promjera svega 3 km. Zraka emitirana nekim drugim izvorom svjetlosti na istom bi se putu toliko proširila da bi obasjavana površina Mjeseca imala promjer od 40 000 kilometara. Novinari su pišući o "svjetlosnoj fantastici" oduševljeno preuzeli novu tehnologiju, prozivali su laser glasnikom nove ere. Proizvođači filmova prikazivali su laser kao smrtonosno oružje –npr. u filmu Jamesa Bonda Goldfinger. Znanstvenici su ukazivali na ogromne potencijale u primjeni lasera u komunikacijama i ostalim područjima.

U stvarnosti, rani su laseri bili daleko od očekivanja. Stvaranje inverzije naseljenosti potrebne za nastajanje laserske akcije zahtijevalo je tzv. optičke pumpe, npr. bljeskalice, tako da su umjesto kontinuiranog svjetla laseri mogli proizvoditi samo pulsevi energije. Efikasnost takvih lasera u pogledu iskorištene snage bila je jako mala. Drugu verziju lasera razvio je 1960. Ali Javan zaposlen u Bell Laboratories, a koristila je staklenu cijev napunjenu mješavinom plinova helija i neona. Ovaj je laser zahtijevao manje energije za rad i nije se pregrijavao. Međutim staklena cijev je istovremeno bila preveć masivna i lako lomljiva. Prve lasere možemo usporediti s vakuumskim cijevima koje su se nekada koristile u radio aparatima, televizijama i prvim kompjuterima. Od 1960. godine vakuumske cijevi je zamijenilo novo čudo tehnologije, zapanjujuće mali, ali izuzetno pouzdani, tranzistor. Je li moguće ostvariti istu transformaciju i u slučaju lasera?.

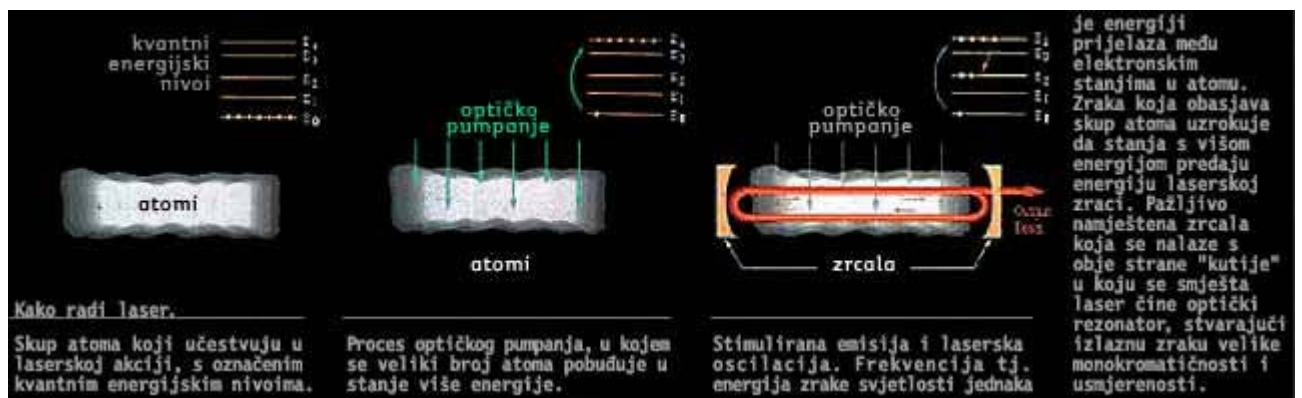
POLUVODIČKI LASERI

U tranzistorima se koristi posebno svojstvo jedne vrste materijala poznatih pod nazivom - poluvodiči. Električna struja prenosi se pokretanjem elektrona i obični metali, kao što je npr. bakar, su dobri vodiči električne struje zbog toga jer njihovi elektroni nisu čvrsto vezani za jezgru atoma, nego su slobodni, u polju pozitivnog naboja jezgre. Neke druge tvari, kao npr. guma, su izolatori –slabi vodiči električne energije- zbog toga jer se njihovi elektroni ne mogu kretati slobodno. Poluvodiči, kao što im i samo ime kaže, nalaze se negdje između; oni se obično ponašaju više kao izolatori, ali pod nekim uvjetima mogu voditi električnu energiju.

U početku su se istraživanja poluvodiča koncentrirala na proučavanje silicija. Međutim sam silicij ne može emitirati svjetlost. Pronalazak tranzistora 1948. godine u Bell Laboratories od strane Wiliama Shockleya, Waltera Brattaina i Johna Bardeena stimulirao je istraživanja na ostalim poluvodičima. On je također osigurao konceptualni okvir koji će na kraju dovesti do razumijevanja emisije svjetlosti u poluvodičima. 1952. godine Heinrich Welker iz Siemens-a u Njemačkoj, ukazao je da se potencijalno korisne elektroničke naprave mogu izraditi od poluvodiča sastavljenih od elemenata III i IV grupe periodnog sustava. Jedan od takvih poluvodiča, galij arsenid, GaAs, postao je jako važan u potrazi za efikasnim laserom koji bi se mogao koristiti u komunikacijama. Cijeli je niz fundamentalnih istraživanja koja su morala prethoditi korištenju GaAs kao osnove za poluvodički laser: studije o narastanju kristala visoke čistoće sloj po sloj, istraživanje

defekata, dapanda (nečistoće dodane čistoj tvari radi mijenjana njenih svojstva) i analize utjecaja topline na stabilnost spoja. Slijedeći napretke u tim granama, grupa istraživača zaposlenih u General Electric, IBM, i Lincoln Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, razvila je 1962. GaAs laser.

Međutim, jedan stari problem još uvijek je postojao: pregrijavanje. Laseri koji su napravljeni od jednog poluvodiča, obično GaAs, nisu jako efikasni. Oni još uvijek za pokretanje laserske akcije trebaju mnogo električne struje zbog čega se jako brzo pregriju, te je ponovo moguć samo pulsni režim rada lasera koji nije pogodan za primjenu u komunikacijama. Fizičari su isprobavali razne metode odvođenja topline –npr. stavljali su drugi materijal koji je bio dobar vodič topline na površinu lasera, ali sve je bilo bezuspješno. 1963. godine Herbert Koerner sa University of Colorado predložio je drugačiju metodu izrade poluvodičkog lasera –treba napraviti laser koji se sastoji od sendviča poluvodiča, s tankim aktivnim slojem umetnutim između dvije ploče različitog materijala. Za postizanje laserske akcije unutar tankog aktivnog sloja potrebno je malo električne energije, pa se i zagrijavanje poluvodiča može držati na kontroliranom nivou. Takvi, slojeviti, laseri se ne mogu izraditi jednostavnim umetanjem aktivnog sloja između ploča drugog materijala, kao što npr. umećemo sir među dvije kriške kruha. Atomi u poluvodičkom kristalu formiraju tzv. rešetku, a elektroni osiguravaju vezu između atoma. Da bi se napravio višeslojni poluvodički laser s potrebnim vezama između atoma, potrebno je da poluvodički kristal izrasta kao cjelovita jedinica nazvana višeslojni kristal.



1967. godine istraživači Morton Panish i Izuo Hayashi iz Bell Laboratories predložili su mogućnost stvaranja prikladnog višeslojnog kristala koristeći modificirani oblik GaAs, u kojem bi se neki atomi galija zamijenili atomima aluminijskim, proces nazvan dopiranje. Međuatomski razmak u modificiranom spoju GaAs razlikovao bi se od međuatomskog razmaka u spoju čistog GaAs za svega 1 promil. Istraživači su pretpostavili da bi se naraštanjem kristala s obje strane GaAs laserska akcija u AlGaAs ograničila samo unutar tankog sloja GaAs. Nakon nekoliko godina rada, put do lasera "čvrstog stanja" –malene poluvodičke naprave koja radi na sobnoj temperaturi- bio je otvoren.

Za razvoj komunikacija preostala je jedna važna prepreka: kako prenositi svjetlosne signale na velike udaljenosti. Radio valovi velikih valnih duljina putuju slobodno zrakom, prodirući s lakoćom kroz maglu i veliku kišu. Kratkovalno lasersko svjetlo odbija se od kapljica vodene pare i drugih čestica koje se nalaze u atmosferi, do takvog stupnja da to uzrokuje njegovo raspršenje ili potpuno gušenje. Znači, magloviti bi dan

mogao uzrokovati prekid komunikacijskih veza ostvarenih putem lasera. Svjetlost, za svoje širenje na velike udaljenosti treba vodič analogan telefonskim linijama.

POJAVA OPTIČKIH VLAKANA



1970. Znanstvenici Donald Keck, Robert Maurer i Peter Schultz, zaposleni u Corning Glass Works-u, uspješno su izradili prva optička vlakna dovoljne prozirnosti te omogućili praktičnu upotrebu optičkih vlakana u komunikacijama.

Optička vlakna su bila jedno od mogućih rješenja problema prijenosa svjetlosti mada sredinom 1960. uopće nije bilo izvjesno da odgovor leži u tom smjeru pa su ozbiljno su razmatrane i ostale mogućnosti. Svjetlost putuje kroz staklena vlakna uz pomoć svojstva

nazvanog totalna unutarnja refleksija. Relacije kojima je opisano zarobljavanje svjetlosti unutar ravne staklene plohe izveo je Augustine-Jean Fresnel još 1820. godine, a njihovo proširenje na tzv. staklene žice dali su D. Hondros i Peter Debye 1910. godine. Međutim, tek je 1964. Stewart Miller iz Bell Laboratories razvio detaljnije načine za isprobavanje potencijala stakla kao efektivnog medija pri prijenosu svjetlosti na velike udaljenosti. Iako se je već znalo da staklena vlakna debljine vlati kose prenose svjetlost na male udaljenosti i bila su korištena u industriji i medicini za dovodenje svjetlosti na inače nedostupna mjesta, problem je bio što je svjetlost gubila do 99% svoje snage pri prolasku kroz optičko vlakno ne duže od 100 metara.

1966. godine Charles Kao i George Hockham iz Telecommunications Laboratories u Engleskoj izjavili su da imaju na dohvat ruke vlakna puno veće prozirnosti od već postojećih. U njihovom članku, u kojem razrađuju tu ideju, prikazali su kako visoki gubici koji karakteriziraju postojeća optička vlakna teoretski nastaju zbog malih nečistoća unutar stakla – a ne zbog unutrašnjih ograničenja samoga stakla. Predvidjeli su da se gubici svjetlosti koja putuje vlaknom mogu drastično smanjiti sa 1 000 decibela na manje od 20 decibela po kilometru. S tim poboljšanjem pojačala svjetlosnog signala mogu biti smještena na međusobnoj udaljenosti od nekoliko kolometara, a ne metara kao do tada – što je usporedivo s međusobnim udaljenostima pojačala koja pojačavaju signal duž običnih telefonskih linija.

Kao rad Townesa i Schwlowa desetljeće ranije, tako je Kao-Hockham članak inspirirao veliki broj istraživača da počnu tražiti optička vlakna malih gubitaka. Prodor je nastao 1970. godine na Corning Glass Works kada su Donald Keck, Peter Schultz i Robert Maurer uspješno napravili optičko vlakno dužine stotinu metara, kristalne čistoće kakvu su predložili Kao i Hockham. Nedugo nakon toga, Panish i Hayashi iz Bell Laboratories demonstrirali su novi poluvodički laser, koji je mogao emitirati kontinuirano svjetlo na sobnoj temperaturi. Nezavisno od ovih otkrića, John MacChesney sa suradnicima, također iz Bell Laboratories, razvio je metode pripreme optičkih vlakna.

Ove aktivnosti bile su prava prekretnica. Sada su bila na raspolaganju sva sredstva koja su omogućavala da se komunikacija pomoću optičkih vlakna izvede izvan fizičarskih laboratorija i prenese u carstvo svakodnevnog inženjstva.. Tijekom idućeg desetljeća, kako su se istraživanja dalje nastavljala, izrađivala su se optička vlakna sve veće i veće

prozirnosti. Do 1980. godine najbolja vlakna su imala takvu prozirnost da je svjetlosni signal mogao putovati kroz 250 kilometara vlakna prije nego bi postao previše slab za detekciju. Kada bi svjetski oceani bili tako čisti mogli biste ploveći preko najdubljeg dijela Pacifičkog oceana vidjeti dno oceana kao što vidite dno bazena.

Optička vlakna tako visokog stupnja prozirnosti nisu se mogla napraviti uobičajenim metodama. Prodor je nastao realizacijom čistog silicijevog stakla, slobodnog od svih metalnih nečistoća koje apsorbiraju svjetlost –a mogla su se napraviti samo direktno iz plinovitog agregatnog stanja –čime se je izbjeglo zagađivanje metalima do kojeg je dolazilo teljenjem u metalnim posudama. Napredovanje se je dalje baziralo u odabiru ravnoteže sastojaka i optimizaciji njihovih reakcija. Tehnologija koja se razvijala u velikoj mjeri se oslanjala na znanje kemijske termodinamike, znanosti koju su od njenog nastanka u 19-tom stoljeću od strane Willarda Gibbsa, razvijale tri generacije kemičara.

PRAKTIČNI SISTEMI POPRIMAJU KONAČAN OBLIK

Ipak, za izgradnju komercijalnog stupnja komunikacijskih sistema bilo je potrebno mnogo više od dobrog optičkog vlakna. Laseri koji bi imali vrijeme života do 1 000 000 sati –bili su prava rijetkost u realnosti. Njihovo uobičajeno vrijeme rada je bilo svega nekoliko sati. Još uvijek nije postojala komercijalna metoda za proizvodnju velike količine pouzdanih lasera.

Ove zahtjeve je, do nekog stupnja bilo moguće zaobići ispuštanjem upotrebe lasera kao izvora svjetlosti. Jednostavnije naprave bile su svjetleće diode, ili LED, slične možete pronaći na videorekorderima ili VCR kao crvena i zelena indikatorska svjetla. LED-erice su se pokazale dobre za prenošenje ograničene količine telefonskih poziva na manje udaljenosti, ali nisu zadovoljile potrebe efikasnosti i kapaciteta u prenošenju signala na velike udaljenosti i preko oceana.

Ponovo je bilo potrebno posegnuti za rezultatima rada znanstveno istraživačkih laboratorija. Otprilike u isto vrijeme kada su Panish i Hayashi napravili prodor radom na višeslojnim kristalima, dvojica kolega, J.R. Arthur i A.Y. Cho iz Bell Laboratories, napredovali su u jednoj novoj metodi rasta kristala nazvanoj epitaksija molekulskim snopom ili MBE. Epitaksija je rast kristala jednog minerala na površini kristala nekog drugog minerala. MBE je toliko precizna da njome možemo izraditi sloj poluvodičkog materijala debljine jednog jedinog atomskog sloja. Ograničavanjem elektrona i njihovog emitiranog svjetla unutar ekstremno tankog poluvodičkog sloja omogućena je visoka efikasnost generirane laserske akcije, uz vrlo malu potrošnju električne energije. Čak štoviše, laserske diode dobivene MBE tehnologijom postigle su i potrebno vrijeme života od 1 000 000 sati. Polazeći od bazičnog razumijevanja rasta kristala do kojeg su došli desetak godina prije znanstvenici Sveučilišta u Bristolu i Bell Laboratorija, istraživanja različitih metoda proizvodnje poluvodičkih spojeva, kao i istraživanja različitih poluvodičkih spojeva, nastavljena su kroz 70-te i 80-te godine. Do 1975. laserska je tehnologija bila razvijena do tog nivoa da je omogućila postavljanje probnih linija u većim američkim gradovima. S svojim počecima u teorijskoj kvantnoj fizici Alberta Einsteina, komunikacija pomoću optičkih vlakna došla je u stadij da su glavni problemi bili proizvodnja, postavljanje i popravci. Popravci optičkih sistema su bili ono što je posebice brinulo inženjere. Spajanje puknutih optičkih vlakna izazov je jednak kao da netko od vas traži da očišanu kosu vratite na glavu, točno na isto mjesto gdje je bila. Prvi test postavljanja optičkih vlakna napravila je 1976. godine AT&T kompanija u

Atlanti. Postavljena su dva optička kabela, svaki s po 144 optička vlakna ukupne duljine gotovo 7 kilometara. Kablovi su bili progurani kroz postojeće podzemne instalacijske kanale što je značilo da su na mnogim mjestima optički kablovi morali biti savijani pod ostrim kutovima. Na bezgranično zadovoljstvo svih koji su sudjelovali u radu, ne samo da tijekom postavljanja nije puklo niti jedno optičko vlakno, nego se ispostavilo da ni oštri kutovi pod kojim je kabel bio savijen nisu ni najmanje umanjili njegov efikasan rad. Komercijalna primjena započela je iduće godine u Chicagu, gdje je sistem optičkih vlakna prenosio glas, podatke i video signale pomoću 2.5 kilometara dugačkih podzemnih kablova kojima su se povezivala dva priključna ureda Bell Telephone kompanije u američkoj saveznoj državi Illinois.

OPTIČKA VLAKNA PREUZIMAJU VODSTVO

Ogromno uzbuđenje je vladalo zbog činjenice da gotovo ništa nije stajalo na putu masovnoj uporabi optičkih kablova. U Sjedinjenim Američkim Državama željezničke pruge su se ukazale kao vrlo prikladan put za polaganje optičkih kablova na velike udaljenosti. Linije su se pokazale toliko sigurne da im nisu smetale ni jake vibracije teških vlakova. Posao je na početku krenuo polako. Do 1978. ukupna duljina postavljenih optičkih vlakna u cijelom svijetu iznosila je nešto manje od 1000 kilometara. 1980. godine AT&T i Federal Communications Commission izložili su planove za postavljanje sistem dugačkog 1000 kilometara koji bi povezivao sve veće gradove na relaciji Boston-Washington. Četiri godine kasnije, kada je sistem pušten u rad, njegov kabel, promjera manjeg od 2.5 centimetara omogućavali su 80 000 telefonskih razgovora u istom trenutku. Do tada ukupna duljina postavljenih optičkih vlakna u Sjedinjenim Američkim Državama dostigla je veličinu od preko 800 000 kilometara –dovoljna duljina da se dosegne Mjesec.

Slični kablovi ubrzo su se proširili po svjetskim morima. Prvi preoatlanski kabel pušten je u rad 1988. godine, koristeći staklo koje je bilo toliko prozirno da su pojačala za regeneriranje slabih signala mogla biti raspoređena na više od 60 kilometara međusobne udaljenosti. Tri godine kasnije, postavljen je još jedan preoatlanski kabel koji je udvostručio kapacitet prvog kabela. Prekopacifički kabel je također pušten u upotrebu, nudeći jednostavniji način poslovnog komuniciranja između Sjedinjenih Američkih Država i Azije.

REVOLUCIJA LASERA I OPTIČKIH VLAKANA



Usred ovih veoma brzih razvoja komunikacija, fundamentalna istraživanja su i dalje osiguravala značajna tehnološka unapređenja. U samom začetku razvoja tehnologije optičkih vlakna, usko grlo cijelog sistema je bilo mjesto na kojima se nalazilo pojačalo za regeneriranje oslabljenih signala. Iako se, pred samim pojačalima, optičkim napravama moglo detektirati i vrlo slabo ulazno lasersko svjetlo, samo pojačalo je moralo biti neke vrste elektroničke naprave koja je detektirani

svjetlosni pretvarala u električni signal (struju). Naprava bi tada pojačala strujni signal koji se vodio na novu lasersku diodu koja bi odašiljala novi, pojačani optički signal. Ovaj sistem je bio bitno ograničen kapacitetom elektroničkih pojačala, koji je bio znatno manji od potencijalnog kapaciteta lasera i optičkih vlakna.

1985. godine na engleskom Sveučilištu u Southampton, fizičar S.B. Poole otkrio je riješenje problema. Dodavanjem male količine elementa - erbija u staklo od kojeg se izrađuju optička vlakna moguće će je napraviti pojačala koja imaju samo optičke elemente. Kratki, stakleni pramen dopiran erbijem ugrađen u optičko vlakno, kada primi energiju od vanjskog svjetlosnog izvora ponaša se kao laser, pojačavajući na takav način optički signal bez korištenja elektronike. Pooleove kolege u Southamptonu, David Payne, P.J. Mears i Emmanuel Desurvire iz Bell Laboratories počeli su primjenjivati otkriće na praktična pojačala signala u optičkim vlaknima. 1991. godine istraživači iz Bell laboratorija pokazali su da potpuno optički sistemi mogu imati 100 puta veći kapacitet od sistema s elektronskim pojačalima. U kratkom su roku evropske i američke komunikacijske tvrtke postavile potpuno nove optičke kablove preko Atlanskog i Pacifičkog oceana, te ih pustili u rad 1996. godine.

Napredak u komunikacijama putem lasera je, evidentno, bio zapanjujući i brz. Jednako su impresivni, kao i sva dosadašnja dostignuća, dramatični napredci koji su se nazirali na horizontu. Iako današnji sistemi optičkih vlakna služe kao glavne linije, prenoseći veliki broj signala između centralnih telefonskih stanica, stručnjaci s čežnjom govore o "posljednjem kilometru" –vezi od centralne stanice do privatnih kuća. Današnji telefonski sistem za taj "posljednji kilometar" koristi kablove napravljene od bakrene žice, koji omogućavaju solidne veze, ali su još uvijek neprikladni za super brzi prijenos velikih količina podataka.

Super brze linije koje bi se koristile za ovaj "posljednji kilometar" su već sada dostupne. Mnoge kompanije ih već upotrjebljavaju. Međutim, za sada su preskupe za male korisnike kao što su domaćinstva. No, što god da nove tehnologije budu ponudile kao nova i još bolja rješenja komunikacijskog povezivanja svakog pojedinca s ostatkom svijeta, istraživanja koja će do toga dovest doći će od znanstvenika koji su svojim istraživanjima neopterećeni trenutačnim tehnološkim zahtjevima nego vođeni željom za razumijevanja temelja prirode u kojoj živimo istražuju na oko potpuno nepovezane pojave.

RAZVOJ LASERA I OPTIČKIH VLAKANA - KRONOLOGIJA IZABRANIH DOGAĐAJA

1900. Max Planck je pokrenuo novo znanstveno polje, kvantnu fiziku, demonstrirajući matematički da materija zrači energiju u diskretnim paketima, koje je nazvao kvanti.

1905. Albert Einstein nadograđuje Plankovu teoriju za objašnjavanje fotoelektričnog efekta, pokazujući da se svjetlost sastoji od energijskih paketa, kasnije nazvanih fotonima. 1921. godine Einstein dobiva Nobelovu nagradu za svoje otkriće.

1913. Niels Bohr formulira model atoma, u kojem elektroni u gibanju oko jezgre okupiraju određene orbite, ili energijska stanja, određene energijom elektrona.

1917. Einstein je identificirao pojavu nazvanu stimulirana emisija.

1951-1953 Charles Townes iz Columbia University Radiaton Laboratory otkriva kako iskoristiti stimuliranu emisiju za proizvodnju fokusirane mikrovalne zrake. Svoj je izum nazvao maser, mikrovalno pojačalo stimuliranom emisijom zračenja. Za ovaj svoj rad Townes je 1964. podijelio Nobelovu nagradu s još dva ruska fizičara, N.G. Basov i A.M. Prokhorov koji su nezavisno od njega došli na istu ideju.

1958. Townes i Arthur Schwalow iz Bell Laboratories objavljuju kako bi trebala raditi teorija stimulirane emisije na mnogo kraćim valnim duljinama, uključujući i svjetlost, čime dolaze do riječi laser, pojačanje svjetlosti stimuliranom emisijom zračenja.

1960. Theodore Maiman iz Hughes Aircraft Company izrađuje laser koristeći sintetički rubin.

1962. Istraživačke grupe iz General Electric, IBM, Lincoln Laboratory i MIT-a izvješćuju o laserskoj akciji u GaAs poluvodiču.

1963. Herbert Kroemer iz University of Colorado predlaže da bi se kreiranjem poluvodičkog "sendviča" s tankim aktivnim slojem smještenim između dva sloja nekih drugih materijala smanjili zahtjevi lasera u pogledu električne energije, pa samim tim i zagrijavanje lasera.

1966. Charles Kao i George Hockham iz Standard Comuncations Laboratories u Engleskoj izdaju članak u kojem teorijski demonstriraju dramatično smanjenje gubitaka u već postojećim staklenim optičkim vlaknima.

1970. Morton Panish i Izuo Hayashi iz Bell Laboratories demonstriraju poluvodički laser koji zrači kontinuirano svjetlo na sobnoj temperaturi. Donald Keck, Peter Schultz i Robert Maurer iz Corning Glass Works obavijestavaju o stvaranju optičkog vlakna koje ostvaruje predviđanja Kaoa i Hockhama.



1970. Znanstvenici Donald Keck, Robert Maurer i Peter Schultz, zaposleni u Corning Glass Works-u, uspješno su izradili prva optička vlakna dovoljne prozirnosti te omogućili praktičnu upotrebu optičkih vlakana u komunikacijama.

1976-1977. Pokus s optičkim vlakancima baziranim na dizajnu i procesu izrade razvijenom u Bell Labs, započeo je u telefonskim sistemima Atlante i Chicaga.

1984. AT&T optičko vlakno pušteno je u rad, povezujući glavne gradove na Boston-Washington relaciji.

1988. Postavljen je prvi prekoatlanski kabel optičkih vlakna, koristeći tako prozirno staklo, da su pojačala bila postavljena na svega 40 milja međusobne udaljenosti.

1991. Emmanuel Desurvire iz Bell Laboratories zajedno s Davidom Payneom i P.J. Mearsom iz Engleske, University of Southampton, demonstriraju optička pojačala – ugrađena u same kablove s vlaknima.

1996. Kablovi s potpuno optičkim vlaknima postavljeni su preko Pacifika. Do 1997. očekuje se njihovo postavljanje u cijelom svijetu.