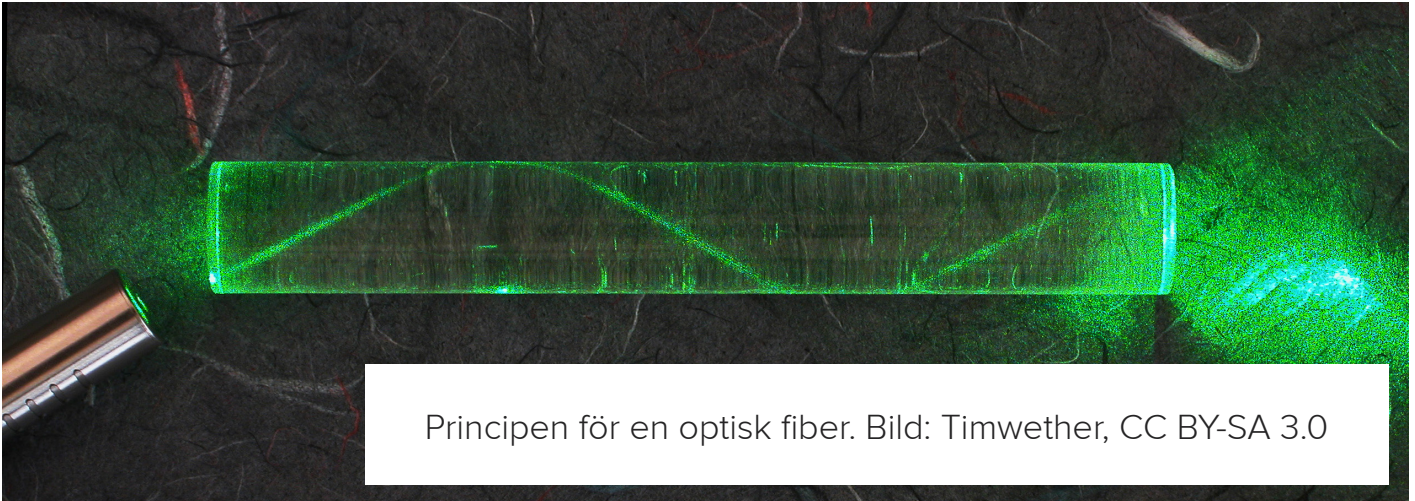


## TEKNISK DJUPDYKNING: OPTISK MAGI MED EDFA

En mycket viktig del när man bygger upp ett optiskt fibernät är ljusförstärkarna. Optiska fibrer är väldigt genomskinliga. Ljus kan färdas igenom dem nästan obehindrat över väldigt stora avstånd. Men inte hur långt som helst.



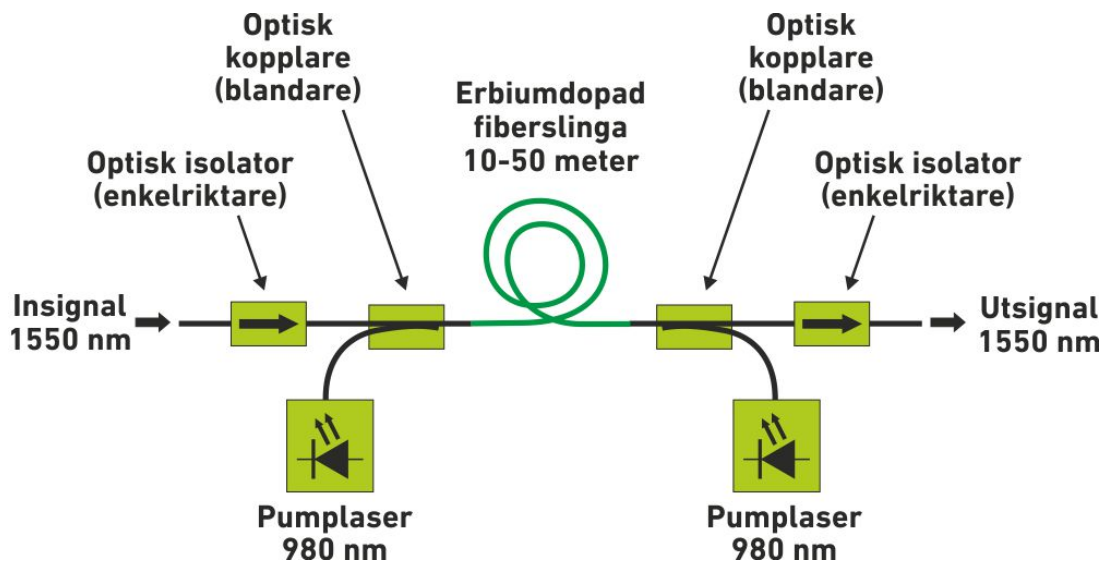
Det finns en gräns för hur långt ljuset kan gå och den brukar man sätta vid 80 kilometer. Fibern är tyvärr inte fullständigt transparent, utan cirka hälften av ljuset (3 decibel) har dämpats ut efter 14 kilometer, och efter 80 kilometer har ljuset dämpats cirka 100 gånger (20 dB) och det är dags att förstärka det.

En **erbiumdopad fiberförstärkare** (EDFA) ser ut som en liten låda stor som en stor tändsticksask, med en optisk fiber in och en optisk fiber ut. Ett par fotoner in i ena änden kommer ut som åtskilligt många flera i andra änden, över hundra gånger starkare. Det är samma ljus, bara mera av det. Sedan orkar det 80 kilometer till. Förstärknoderna är de som benämns ILA (In-line Amplifier) på nätverkskartan på denna webbplats.

## HUR FÖRSTÄRKER MAN LJUS?

I korthet använder man ljus för att förstärka ljus. Eller något längre uttryckt: för att förstärka laserljuset i fibern, använder man annat laserljus och det förstärkande mediet är också en laser.

Så här brukar man koppla en EDFA.



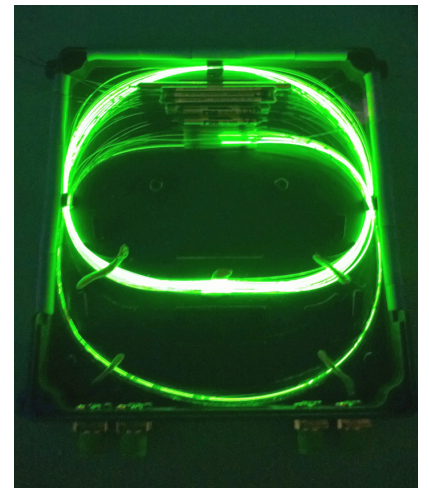
Huvudkomponenten är en erbiumdopad optisk fiber (se vidare nedan), oftast en helt vanlig single mode-fiber som förorenats med metallen erbium. Fibern pumpas (förses med drivning) med ljus från en eller två laserdioder. Fibern kan pumpas från ena eller båda ändarna, beroende på hur mycket uteffekt man vill ha. Det går att få ut upp till 200 milliwatts ljuseffekt ur lasern till en EDFA. Det kan man bränna fingrarna på.

Pumppljuset har normalt en våglängd av 980 nanometer, vilket är kortvågigt infrarött. Det exciterar erbiumjonerna och ger dem möjlighet att förstärka den optiska signalen på omkring 1550 nanometer genom så kallad **stimulerad emission**. Efter att en erbiumjon exciterats och därpå stimulerats av det inkommande ljuset att släppa ifrån sig en foton på 1550 nm återgår den till grundtillståndet och suger åt sig mera pumppljus och är åter redo att stimuleras.

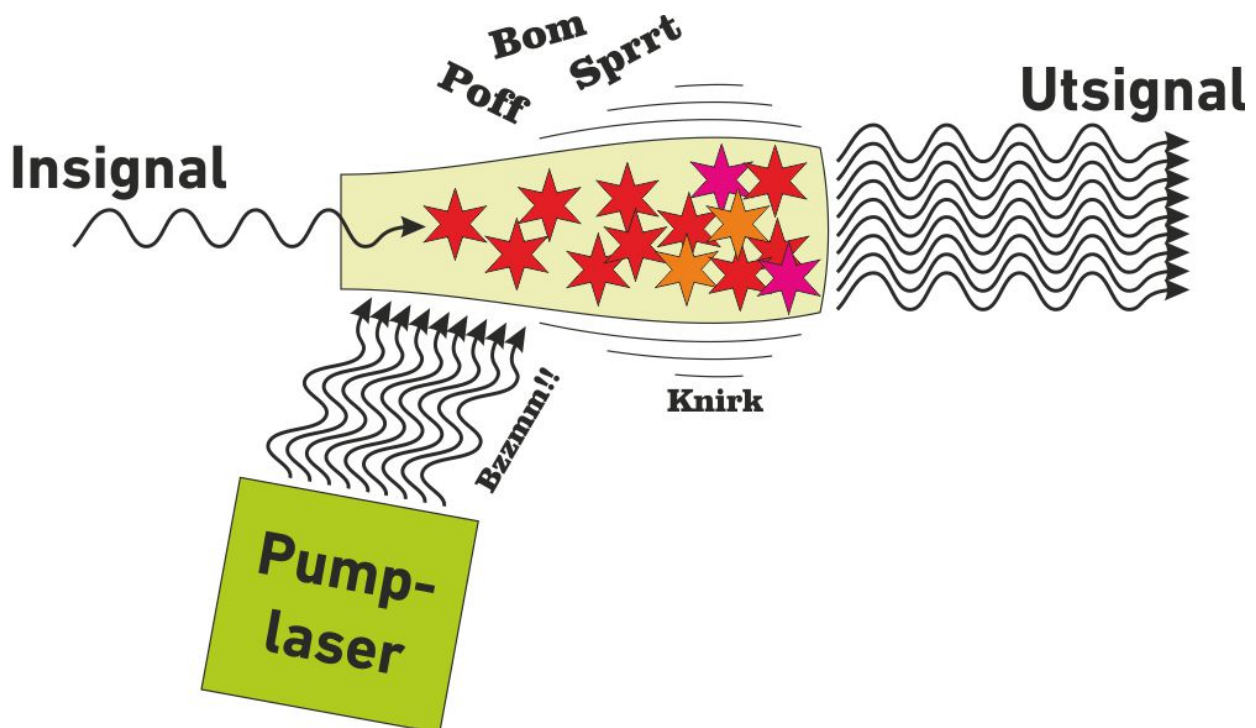
Pumppljuset förs in genom sk kopplare (couplers), som består av två fibrer som smälts ihop till en. Ljuset i de båda fibrerna blandas helt enkelt. Dessutom sitter det två optiska isolatorer, låt oss kalla dem för optiska backventiler, i kretsen. Den första finns för att hindra att ljus från EDFA läcker tillbaka ut i systemet och stör tidigare komponenter. Den andra finns för att hindra att förstärkt ljus som reflekteras från efterföljande komponenter kommer tillbaka in i EDFA och förstärks en gång till och får EDFA att agera laser istället för förstärkare. Förstärkningen skulle dessutom kunna bli så hög att fibern eller några av komponenterna smälte.

I skissen ovan visas inte de övervakningskomponenter som också brukar finnas, som sensorer som mäter inkommande och utgående effektnivåer, samt pumplaserns uteffekt. Ej heller visas de färgfilter som jämnar ut förstärkarens förstärkning över hela våglängdsområdet, så att alla inkommande ljusfärger förstärks lika mycket.

Det förstärkande elementet är alltså en rulle fiber. Här visas en rulle erbiumdopad fiber som glöder mysigt när den pumpas med grönt laserljus. De mörkare, avlånga delarna längst bak i bilden är kopplingselement som blandar ihop den svaga insignalen med pumplasern och sedan skiljer isär dem igen efter förstärkning. Typiskt använder man en dopad fiber på mellan 10-50 meter för att få 25 dB förstärkning. Bild: Gooch & Housego PLC



## PUDELNS KÄRNA – STIMULERAD EMISSION



Allt det magiska sker i den erbiumdopade fibersnutten. Erbiumjonerna har som alla andra ämnen elektroner i sina elektronskal. När erbiumjonen träffas av pumppljuset kommer en av de yttre elektronerna att absorbera energin och flytta upp i en högre energinivå. Där blir den kvar en stund, tills den faller tillbaka och släpper ifrån sig energin i form av en foton på 1530 nm. Det kallas **spontan emission** och är det vi ser i bland annat i kvicksilvergasen i lysrör.

Eller också kan man tvinga (stimulera) jonen att släppa ifrån sig energin med hjälp av en hård knuff från en inkommande foton på 1530 nm, eller däromkring. Varje inkommande foton knackar loss en ny, likadan och de båda fortsätter och knackar loss varsin ny foton och så vidare. Resultatet blir en hel lavin av fotoner. Det är det som är förstärkningen.

Man kan kalla det ljusförstärkning genom stimulerad emission, eller på engelska **LASER**. Erbiumfibern blir alltså en laser som inte tillåts blomma ut riktigt i och med att den inte får förstärka sitt eget ljus om och om och därmed lysa själv, utan bara får ta hand om inkommande ljus.

Det fina med en rent optisk förstärkare, bortsett från att den är mycket billigare än en elektrooptisk variant, är att den förstärker allt inkommande ljus oavsett modulation, polarisation osv och lämnar ifrån sig en likadan signal av exakt samma våglängd, fas och riktning som den inkommande signalen, bara mycket starkare. Förstärkningen är också oberoende av modulationstyp. Det betyder att om man väljer att byta modulationstyp i sitt fibernät, till exempel att gå från 4-kvadraturers QAM till den effektivare 8- eller 16-QAM fortsätter samma EDFA att fungera.

## ERBIUMDOPAD?

En vanlig optisk fiber innehåller bara glas, kiseldioxid (strandsand). Vid tillverkningsprocessen kan man emellertid förorena den med något störämne genom att låta ämnet, i det här fallet metallen erbium, få vandra in i glaset, atom för atom, när glaset är varmt och glöder. Man gör på precis samma sätt när man framställer halvledare, att man stör det rena kiset med något skräp (fosfor, arsenik), som senare bildar positivt eller negativt laddade områden, som tvingar elektronerna att utföra konst.

En vanligare form av dopat glas är vanliga ölfaskor där den gröna färgen beror på att man förorenat (dopat) glaset med järn- eller kopparoxid. En mera avancerad variant är det blyinfattade glas man ser i kyrkor, där glaskonstnären använt sig av ett antal olika störmetaller för att få olika färger.



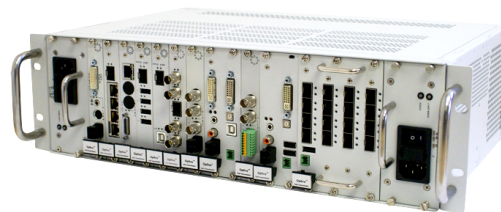
## ERBIUMFÖNSTRET



**Emcore MAFA 1000** är en typisk EDFA-förstärkarmodul som är avsedd att byggas in i större konstruktioner. Den kräver yttre styrning, strömförsörjning och så vidare, men bilden ovan visar själva den förstärkande modulen. Den är bara 70×90 millimeter stor och ska matas med mellan 3 och 12 volt och drar 2 watt elektrisk effekt.

Ljusförstärkningen fungerar bara inom vissa våglängdsområden. För erbiumjoner handlar det om 1532 nm ~ 1565 nm, det sk erbiumfönstret. Den inkommande våglängden måste ligga tillräckligt nära erbiumets naturliga våglängd 1530 nm för att jonen ska kunna tvingas emittera.

Man har valt att göra de optiska fibrerna i nätet sådana att de har minst förluster i två våglängdsband, C-bandet (eller Conventional) mellan 1525 nm och 1565 nm och L-bandet (eller Long) mellan 1570 nm och 1610 nm. För att passa mot erbiumförstärkarna använder sig Sunet av C-bandet. En färdigbyggd enhet kan se ut så här.



Just det här råkar vara Emcores Optiva-rack avsedd för transmission av snabba video- eller digitala signaler, som kan fungera som mellanled i exempelvis en mikrovågslänk, eller någon annan typ

av distributionsnät. De digitala insignalerna kopplas in i några kortmodulerna till vänster i racken, medan fibrerna sätts in i de rektangulära uttagen näst längst till höger. Bakom plåten döljer sig givetvis ett antal förstärkarblock i MAFA 1000-familjen.

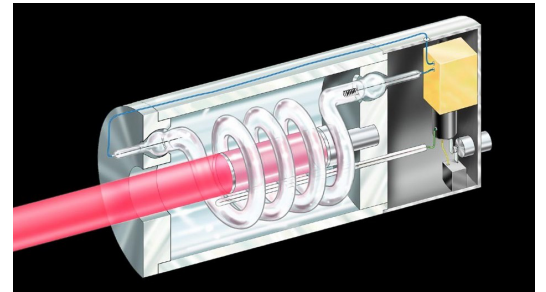
## AVDELNINGEN FÖR LASERKURIOSA



Optisk förstärkning började man med ganska tidigt i laserns utveckling. En rubinstav som är halförspeglad i ena änden och helförspeglad i den andra, brukar man kalla för rubinlaser och den uppfanns år 1960.

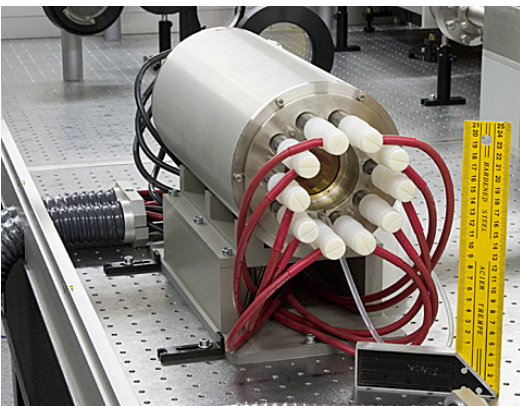
När man skjuter av en elektronblix och pumpar laserkristallen, exciteras den och skickar ut en hel skur av röda laserpulser ur den halförspeglade änden. Toppen om man ska bränna hål i rakblad, men mindre bra om man behöver en enda stor, stark puls.

Sätter man ytterligare en rubinstav efteråt, som laserskuren får passera igenom och pumpar den andra rubinstaven samtidigt kommer den att spara på sig pumpenergin och lösa ut den tillsammans med det inkommande pulståget i en enda jättepuls, ungefär som i erbiumfallet ovan. Man brukar kalla fenomenet för jättepuls laser.



Rubinlasern i princip, med en rosa laserkristall omlindad med ett spiralformat xenonblixtrör.

Bild: Deglr6328, PD



Det här är en riktig optisk bamseförstärkare. Mitt i röret ligger en laserkristall av neodymdopat glas (istället för rubin) och runt denna sitter tio blixtlampor. Du ser de röda

anslutningsledningarna till xenonblixtrören. Just den här typen av pumpkammare kan pumpa staven med 22 kJ och kan skjuta hål i plåt.

**DON'T STARE INTO BEAM WITH REMAINING EYE!**

**LÄS MER**

Den fina effekten att de optiska förstärkarna är oberoende av vilken signal man skickar igenom dem, demonstrerar British Telecom här: <http://www.idg.se/2.1085/1.590938/nar-fibern-blir-full-trycker-vi-in-lite-till>

Många företag säljer EDFA, som Emcore: <http://www.emcore.com/fiber-optics/satellite-microwave/erbium-doped-fiber-amplifiers-edfa/>

Erbium upptäcktes år 1879 i Sverige, av en svensk vid namn Per Teodor Cleve. Erbium utvanns ur den svarta malmen gadolinit som bröts i Ytterby gruva på Resarö i Stockholms skärgård, nära Gustavsberg. Åk dit och titta själv:

<http://miljoaktuellt.idg.se/2.1845/1.186905/ytterby-gruva-ett-industriminnesmarke>

Skriven av



**JÖRGEN STÄDJE**

Jag heter Jörgen Städje och har skrivit om teknik  
och vetenskap sedan 1984. Friskt kopplat, hälften  
brunnet!