

Title of the Thesis

Design and Numerical Modelling of Nanoplasmonic Structures at
Near-Infrared for Telecom Applications

Abstract

Industrial innovation is mostly driven by miniaturization. As a result of remarkable technological advancements in the fields of equipment, materials and production processes, transistor, the fundamental active component in conventional electronics, has shrunk in size. Semiconductor technology is unique in that all performance metrics are enhanced, while at the same time unit prices are reduced. Moore's Law, which predicts that the number of components per chip will double every two years, was established in 1965, and the industry has been able to keep up with this prophetic prognosis since. Thermal management, on the other hand, has become a key limiting factor for current electronic circuits and is set to put a stop to Moore's Law. Given the fact that complementary metal oxide semiconductor (CMOS) scaling is reaching fundamental limits, there are several new alternative processing devices and architectures that have been investigated for both traditional integrated circuit (IC) technologies and novel technologies, including new technologies aimed at contributing to advances in scaling progress and cost reductions in manufacturing operations in the coming decades. These factors will encourage the development of new information processing and memory systems, new technologies for integrating numerous features heterogeneously and new system architectural design layouts, among other things. Energy efficiency is advantageous from a sustainability perspective and for consumer electronics, for which fewer power-hungry components mean longer times between charges and smaller batteries. The creation of novel chip-scale tools that can aid in the transfer of information across optical frequencies and microscale photonics between nanoscale electronic devices is now a possibility. Bridging this technological gap may be achieved by plasmonics. The incorporation of plasmonic, photonic and electrical components on a single chip may lead to a number of innovative breakthroughs. Photonic integrated circuits (PICs) enable the realization of ultra-small, high-efficiency, ultra-responsive and CMOS-compatible devices that can be used in applications ranging from optical wireless communication systems (6G and beyond) and supercomputers to health and energy.

This thesis provides a platform from which to design nanoplasmonic devices while facilitating high-transmission and/or absorption efficiency, miniaturized size and the use of near-infrared (NIR) wavelengths for telecom applications. With a significant amount of Internet traffic transmitted optically, communication systems are further tightening the requirements for the development of new optical devices. Several new device structures based on the metal-insulator-metal (MIM) plasmonic

2022-01-19

waveguide are proposed and investigated using performance metrics. The transmission line theory (TLM) from microwave circuit theory and coupled mode theory (CMT) is studied and employed in the design process of the nanostructures, in particular to address the losses in plasmonic-based devices, which has been the major factor hampering their widespread usage in communication systems. By taking advantage of well-established microwave circuit theory (through new design that paves the way for mitigating these losses and enabling efficient transmission of power flow in the optical devices), we have suggested a number of high-transmission efficiency nanodevices that offer highly competitive performance compared with other platforms. As a result, a promising future for plasmonic technology, which would enable design and fabrication of multipurpose and multifunctional optical devices that are efficient in terms of losses, footprint and capability of integrating active devices, is anticipated.

Svensk Sammanfattning

Branschinnovation drivs främst av miniatyrisering. Som ett resultat av anmärkningsvärda tekniska framsteg inom områdena utrustning, material och produktionsprocesser kunde transistorerna, den grundläggande aktiva komponenten i samtida elektronik, krympa i storlek. Halvledarteknik är unik genom att alla prestandamått förbättras, samtidigt som enhetspriserna sänks. Moores Lag, som förutspår att antalet komponenter per chip skulle fördubblas vartannat år, inrättades 1965, och branschen har kunnat hålla jämna steg med den profetiska prognosen sedan dess. Termisk hantering, å andra sidan, har blivit en viktig begränsande faktor för nuvarande elektroniska kretsar, och är inställd på att sätta stopp för Moores Lag. Med tanke på att CMOS-skalningen (Complementary Metal Oxide Semiconductor) når grundläggande gränser finns det flera nya alternativa bearbetningsanordningar och arkitekturer som har undersökts för både traditionell integrerad kretsteknik och ny teknik. Ny teknik som syftar till att bidra till framsteg i skalningen av framsteg och kostnadsminskningar i tillverkningsverksamheten under de kommande årtiondena. Dessa faktorer uppmuntrar utvecklingen av nya informationsbehandlings- och minnessystem, ny teknik för att integrera många funktioner heterogent och nya systemarkitekturdesignlayouter, bland annat. Energieffektivitet är fördelaktigt ur ett hållbarhetsperspektiv och för hemelektronik, där färre krafthungriga elektroniker innebär längre tid mellan laddningar och stimulerar för ett mindre energilagringssystem ombord. Skapandet av nya chip-scale verktyg som kan bidra till överföring av information över optiska frekvenser och mikroskala fotonik mellan elektroniska enheter i nanoskala är nu en möjlighet. Överbrygga denna tekniska klyfta kan uppnås av plasmonics. Införlivandet av plasmoniska, fotoniska och elektriska komponenter på ett enda chip kan leda till ett antal innovativa genombrott. Fotoniska integrerade kretsar (PIC-enheter) möjliggör förverkligande av ultrasmå, högeffektiva, ultrasensitiva och CMOS-kompatibla enheter som kan användas i applikationer som sträcker sig från optiska trådlösa kommunikationssystem (6G och därefter), superdatorer till hälso- och energiändamål.

Denna avhandling ger en plattform för att designa nanoplasmoniska enheter samtidigt som den innehåller hög överförings- och eller absorptionseffektivitet,

2022-01-19

miniatyriserad storlek och vid önskade våglängder av nära infraröd (NIR) för telekomapplikationer. Med den betydande mängden Internettrafik som överförs optiskt skärper kommunikationssystemen ytterligare kraven för utveckling av nya optiska enheter. Flera nya enhetsstrukturer baserade på metall-isolator-metall (MIM) plasmonisk vågledare föreslås och numeriskt undersöks. Överföringslinjeteori (TLM) från mikrovågskretsteori och kombinationslägesteori (CMT) studeras och används i nanostrukturerna. För att ta itu med de förluster i plasmonbaserade enheter som har varit den viktigaste parametern som hindrade deras utbredda användning i kommunikationssystem, genom att dra nytta av den väletablerade mikrovågskretsteori (genom ny design som banar väg för att mildra förlusterna och möjliggöra effektiv överföring av kraftflödet i den optiska enheten). Vi har framgångsrikt föreslagit ett antal nanodevices med hög överförings-effektivitet som erbjuder en mycket konkurrenskraftig prestanda jämfört med andra plattformar. Som ett resultat förväntar vi oss en lovande framtid för plasmonisk teknik som skulle möjliggöra design och tillverkning av mångsidiga och multifunktionella optiska enheter som är effektiva när det gäller förluster, fotavtryck och förmåga att integrera aktiva enheter.