

Dissertation ETH No. 21527

HYBRID INTEGRATION OF MILLIMETER WAVE  
CIRCUITS BASED ON LOW-LOSS DIELECTRIC  
WAVEGUIDES

A dissertation submitted to  
ETH ZURICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

NEMAT DOLATSHA

M.Sc University of Tehran, Iran  
born on September 22, 1984  
citizen of Iran

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Christian Hafner, examiner  
Prof. Dr. Jan Hesselbarth, co-examiner  
Prof. Dr. Jürg Leuthold, co-examiner  
Prof. Dr. Daniel Erni, co-examiner

2013

## Abstract

The increasing number of applications of millimeter wave (30-300 GHz) and sub-THz (300-1000 GHz) frequencies and the lack of an efficient circuit board technology for hybrid integration of active and passive devices are the main motivations for this work, where a hybrid circuit board technology for millimeter wave and sub-THz frequencies is presented. A synthesized version of the so-called *insulated image guide*, operating in the higher-order  $E_x^{11}$  mode (where the electric field is primarily parallel to the ground plane) is used as the transmission medium. A relatively thick low-permittivity gap layer is introduced between the ground plane and the main high permittivity dielectric slab. This helps to suppress the undesired modes. The waveguide shows a low transmission loss as well as low radiation loss at bends and dividing junctions. On-chip dipole antennas oriented parallel to the ground plane couple the fields efficiently from the active integrated circuits to the waveguide and vice versa.

As a proof of concept, some components are first implemented at microwave frequencies (around 10 GHz). Then millimeter wave versions are realized at frequencies around 100 GHz.

The propagation characteristics of the waveguide are determined by using an accurate cavity resonator method. Furthermore, on-chip as well as off-chip  $E_x^{11}$  mode-launchers are proposed. The on-chip structure obviates the need for wire bonding or flip-chip technique for interconnections, which are crucial when metallic chip to chip connections are used.

A linear antenna array using the proposed hybrid integration technology is designed, manufactured and measured. In order to realize larger arrays, a serial power divider with equal outputs is implemented on the insulated image guide.

Apart from the above mentioned circuit-board technology, a planar structure for simultaneous propagation of two polarization-orthogonal modes of a rectangular dielectric waveguide is presented. It offers an ultra-wide bandwidth, which is applicable for high data-rate

communication between chips or boards in the range of up to a few meters.

## Zusammenfassung

Die Zunahme von Anwendungen basierend auf Millimeterwellen und Terahertzstrahlung (auch Submillimeterwellen genannt) und der Mangel an einer effizienten Leiterplattentechnologie für eine hybride Integration von aktiven und passiven Geräten stellt die Hauptmotivation dieser Forschungsarbeit dar. In der vorliegenden Dissertation wird eine solche hybride Leiterplattentechnologie für Millimeterwellen- und Sub-THz Frequenzen präsentiert. Als Übertragungsmedium dient eine synthetisierte Version von *insulated image guide* (wo sich ein elektronisches Feld vorwiegend Parallel zu Massefläche befindet), welche in einem höheren  $E_x^{11}$ -Mode funktioniert. Um die unerwünschten Moden zu unterdrücken, wird eine relativ dicke Schicht mit niedriger Dielektrizitätskonstante zwischen der Massefläche und der High-k-Dielektrikum-Platte eingeführt. Dabei wird aufgezeigt, dass dieser Wellenleiter bei Krümmungen und Gabelungen niedrige Übertragungs- und Strahlungsverluste aufweist. Eine parallel zur Massefläche ausgerichtete *On-Chip*-Dipolantenne koppelt die Felder wirksam von den aktiven Komponenten in den Wellenleiter. Als Machbarkeitsnachweis und dank der einfacheren Herstellung werden zunächst einige Komponenten im Mikrowellenfrequenzbereich (10 GHz) hergestellt. Anschliessend werden die Millimeterwellen-Versionen mit Frequenzen um 100 GHz realisiert. Die Ausbreitungseigenschaften des Wellenleiters werden mittels einer präzisen Hohlraumresonator-Methode bestimmt. Ferner wird sowohl ein On-Chip, als auch ein Off-Chip  $E_x^{11}$  Mode-Launcher vorgestellt. Die On-Chip-Struktur macht herkömmliche Chip-Verbindungstechnologien wie Drahtbonden oder die Flip-Chip-Technik überflüssig.

Als erstes Anwendungsbeispiel wird ein lineares Antennenarray, bei dem der Wellenleiter als ein verlustarmes Speisetzwerk dient, hergestellt und vermessen. Um auch grössere Arrays realisieren zu können wird ausserdem ein serieller Leistungsteiler vorgestellt, der die Eingangsleistung gleichmässig auf zwei Ausgänge aufteilt.

Schliesslich wird eine planare Struktur zur gleichzeitigen Ausbreitung von zwei orthogonalen Polarisationsmoden eines rechteckigen dielektrischen Wellenleiters vorgestellt. Die sehr grosse Bandbreite dieser Struktur erlaubt hohe Datenübertragungsraten zwischen Chips oder Chipkarten über Distanzen von bis zu einigen Metern.