

DISS. ETH No. 13948

**InP/InGaAs pin-Photodiode Arrays  
for Parallel Optical Interconnects  
and  
Monolithic InP/InGaAs pin/HBT Optical  
Receivers for 10-Gb/s and 40-Gb/s**

A dissertation submitted to the

**SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZUERICH**

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by

Martin Bitter  
Dipl. El.-Ing. ETH-Z  
bom January 17, 1967  
citizen of 4323 Wallbach, Switzerland

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Hans Melchior, examiner  
Prof. Dr. Heinz Jäckel, co-examiner

November 2000

# ABSTRACT

---

Optical receiver front-end **modules** are key components in every lightwave **communication system**. They are used for the **conversion** of modulated Optical power into **electrical** voltage **signals** for **further** processing in subsequent data regeneration circuits. To **keep step** with the steadily increasing demand for transmission bandwidth, the **development** of devices capable of handling **data-rates** of 10Gb/s and even 40Gb/s is of **prime importance**. Simultaneously, parallel **optical** interconnects **become** more and more important for interfacing **telecom** equipment such as digital routers or **cross-connects** because they offer large data pay-loads at a low **cost** per bit.

As a **contribution** to high throughput parallel Optical interconnects, we have developed and fabricated top-illuminated 1x12 InP/InGaAs mesa **pin-photodiode** arrays for use as Optical-to-electrical **converters** in receiver assemblies. The pin-photodiodes **with** a diameter of light-sensitive area of 70 $\mu$ m obtained a responsivity of 0.85A/W and a **bandwidth** of 4GHz in a 50 $\Omega$  setup at a wavelength of 1300nm. In combination with a Silicon bipolar 1x12 receiver amplifier array, a total data-throughput of up to 30Gb/s was achieved.

As a **contribution** to the advancement of high bit-rate Optical communication, we have developed fully-packaged Optical receiver front-end **modules** for **direct application** in SDH/SONET Systems. To do so, the developed Optical receiver circuits were **incorporated** into metal housings with electrical connectors and attached Single-mode silica fibers for light coupling. **Special** emphasis was set on the development of an assembly technique capable of handling electrical high-speed **signals**. The monolithically **integrated** Optical receiver circuits (photodetector/electrical preamplifier combination) were realized with an InP/InGaAs pin-photodiode/single-heterojunction bipolar **transistor (pin/HBT)** fabrication technology. The top-illuminated monolithic **pin-photodiodes** were formed with the base-collector epitaxial layer structure of a heterojunction bipolar transistor **device** and obtained a responsivity of 0.53A/W and a bandwidth in excess of 30GHz measured in a 50 $\Omega$  setup at a wavelength of 1553nm. The bipolar transistors obtained a maximum **current** gain cut-off frequency  $f_T$  of 70GHz and a **small-signal current** gain  $h_{fe}$  of 20. Optical receiver **modules** containing **pin/HBT** receiver **chips** optimized for low-noise Performance achieved state-of-the-art sensitivity values for **pin-photodiode** based implementations as low as -20dBm at a data-rate of 10Gb/s and a wavelength of 1553nm.

A broadband Optical receiver **module** with a bandwidth of 30GHz obtained **clear eye** opening at 40Gb/s with a sensitivity **better** than -10dBm at a wavelength of 1553nm.

To **the** best of our knowledge, this result represents the **first** demonstration of a **40Gb/s** Optical receiver module assembled with a monolithic **pin/HBT** receiver circuit.

# KURZFASSUNG

---

Optische Empfänger **Frontend-Module** sind Schlüssel-Komponenten in jedem faser-optischen Kommunikationssystem. Sie bewerkstelligen die Umwandlung modulierter optischer Leistung in elektrische Spannungssignale zur Weiterverarbeitung in nachfolgenden Datenregenerationsschaltungen. Um mit der ständig zunehmenden Nachfrage nach Übertragungsbandbreite Schritt halten zu können, kommt der Entwicklung von Komponenten zur Verarbeitung von Datenraten von **10Gb/s** oder gar **40Gb/s** immer grössere Bedeutung zu. Gleichzeitig werden aber auch parallele, optische Verbindungen zwischen Telekommunikationsgeräten wie etwa digitalen Kreuzverteilern oder Netzwerkroutern immer wichtiger, um grosse Datenmengen zu einem tiefen Preis pro übertragenem Bit anbieten zu können.

Als Beitrag zu parallelen, optischen Verbindungen für grossen Datendurchsatz haben wir front-beleuchtete, **1x12 InP/InGaAs** Mesa-Struktur Pin-Photodioden Arrays entwickelt und hergestellt, die als optisch-elektrische Wandler für Empfängeraufbauten geeignet sind. Die Pin-Photodioden haben einen Durchmesser der lichtempfindlichen Fläche von **70 $\mu$ m** und zeigten bei einer Wellenlänge von **1300nm** eine Responsivity von **0.85A/W** und eine Bandbreite von **4GHz** (gemessen in einem **50 $\Omega$**  Testaufbau). In einem Aufbau mit einem **1x12 Empfängerverstärker-Array**, integriert in **Silizium-Bipolartechnologie**, konnte ein totaler Datendurchsatz von bis zu **30Gb/s** demonstriert werden.

Als Beitrag zur Weiterentwicklung der optischen Kommunikation bei hohen Datenraten haben wir vollständig verpackte, optische Empfänger **Frontend-Module** für den Einsatz in **SDH/SONET-basierten** Kommunikationssystemen entwickelt und aufgebaut. Dabei wurden die entwickelten optischen Empfängerschaltungen in Gehäuse eingebaut, mit elektrischen Steckern versehen und Licht mittels einer befestigten Monomode Glasfaser eingekoppelt. Besondere Aufmerksamkeit wurde bei der Entwicklung der Module einer hochgeschwindigkeitstauglichen Aufbautechnik beigemessen. Die monolithisch-integrierten, optischen Empfängerschaltungen (eine Kombination aus Photodetektor und elektrischem Vorverstärker) wurden mittels einer **InP/InGaAs** pin-Photodiode/Heterostruktur-Bipolartransistor (**pin/HBT**) Herstellungstechnologie realisiert. Die monolithische, front-beleuchtete Pin-Photodiode wurde dabei aus den Basis-Kollektor Schichten eines Heterostruktur-Bipolartransistors gebildet. Bei einer Wellenlänge von **1553nm** erreichte die Responsivity einen Wert von **0.53A/W** und eine Bandbreite grösser **30GHz** wurde in einem **50 $\Omega$**  Testaufbau gemessen. Die **Bipolartransistoren** erreichen eine maximalen Transitfrequenz  $f_T$  von **70GHz** und haben eine

Kleinsignalstromverstärkung  $h_{fe}$  von 20.

Optische Empfängermodule mit **für** minimales elektronisches Rauschen optimierten **pin/HBT** Schaltungen erreichen Empfindlichkeiten von bis zu **-20dBm** bei einer Datenrate von **10Gb/s** und einer Wellenlänge von **1553nm** • was dem heutigen Stand der Technik für Pin-Photodioden basierte Implementierungen entspricht.

Für ein optisches Empfängermodule mit einer Bandbreite von **30GHz** konnten gut geöffnete Augen bei einer Datenrate von **40Gb/s** und eine Empfindlichkeit besser als **-10dBm** bei einer Wellenlänge von **1553nm** ermittelt werden. Dies ist, nach unserem besten Wissen, die erste Demonstration eines **40Gb/s** optischen Empfängermodules, welches mit einer monolithisch-integrierten **pin/HBT** Empfängerschaltung aufgebaut wurde.