

Diss. ETH Nr. 7651

**Optoelektronisches
Picosekunden-Samplingsystem mit
Koplanar montiertem Photoleiter und
Halbleiter-Laser**

ABHANDLUNG

**zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Technischen Wissenschaften
der**

**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE ZÜRICH**

**vorgelegt von
PETER ROBERT SCHMID
Dipl. El. Ing. ETH
geboren am 22. Mai 1951
von Oberegg AI**

**Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. H. Melchior, Referent
Prof. Dr. W. Guggenbühl, Korreferent**

1985

OPTOELEKTRONISCHES PICOSEKUNDEN-SAMPLINGSYSTEM MIT KOPLANAR MONTIERTEM PHOTOLEITER UND HALBLEITERLASER

ZUSAMMENFASSUNG

Die Fortschritte auf den Gebieten der Optoelektronik und der Halbleitertechnologie lassen zunehmend grössere Datenübertragungsraten und eine schnellere Signalverarbeitung zu. Daraus erwächst das Bedürfnis, elektrische Signale mit entsprechend hoher zeitlicher Auflösung ausmessen zu können. Während die rein elektronische Messtechnik bei etwa 20ps an die Grenzen stösst, die ihr durch Laufzeiteffekte und abmessenbedingte Zeitkonstanten gesetzt sind, können heute optische Impulse von weniger als 1ps Breite erzeugt werden. Durch die Entwicklung geeigneter photoelektrischer ps-Detektoren wird es möglich, diese ultrakurzen optischen Impulse nutzbar zu machen und die Auflösung der Messtechnik bis hinunter zu wenigen Picosekunden zu verbessern.

In dieser Arbeit werden Entwicklungen und Untersuchungen vorgestellt, die für die Realisierung eines kompakten, komfortablen optoelektronischen Samplingsystems von Bedeutung sind. Als Abtastelemente dienen Photoleiter, welche Dank ihrer hohen Empfindlichkeit von Halbleiterlasern angesteuert werden können. Beide, Photoleiter und Halbleiterlaser, sind klein und ermöglichen zusammen mit einer neuentwickelten, breitbandigen Montagetechnik einen kompakten Aufbau. Die zu messenden elektrischen Signale können über koaxiale Leitungen und Stecker dem Abtastelement zugeführt werden.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Entwicklung, Herstellung und Charakterisierung schneller photoleitender Detektoren aus Gallium-Arsenid (GaAs). Verschiedene hochohmige GaAs-Kristalle mit und ohne epitaktische Schichten dienen als Ausgangsmaterial für die im Detail beschriebene Herstel-

lung. In statischen und dynamischen Messungen werden die Eigenschaften der verschiedenen Detektortypen untersucht und ihr Verhalten anhand einfacher Modelle physikalisch erklärt. Es wird gezeigt, dass nicht nur das verwendete Material, sondern auch die Art der Kontakte einen entscheidenden Einfluss auf die Photoleitung ausübt. Eine kurze Antwortzeit, resp. eine Trägerlebensdauer von weniger als 40ps konnte an undotierten epitaktische MBE-Schichten auf Cr:GaAs gemessen werden. Dank kleiner aktiver Flächen von nur 4×4 resp. $8 \times 8 \mu\text{m}$ beträgt die Empfindlichkeit dieser Photoleiter trotz ihrer hohen Bandbreite 10mS/W. Damit sind sie empfindlich genug, um von einem Halbleiterlaser angesteuert und als Abtastelemente in einem Samplingsystem eingesetzt zu werden.

Die Photoleiter werden in einer neuentwickelten, koplanaren Flip-Chip-Technik auf ein Saphirsubstrat montiert. Die verwendeten planaren Wellenleiter werden mit photolithographischer Präzision den Abmessungen der Bauteile angepasst und erlauben eine breitbandige (DC bis über 30GHz) und dennoch bequeme Verbindung der kleinflächigen Detektoren mit den zu messenden Signalquellen über koaxiale Kabel. Die elektrischen Eigenschaften der Montagetechnik werden ausgemessen, und die zur Realisierung entwickelten technologischen Prozessschritte ausführlich beschrieben.

Ein optischer Impulsgenerator mit einem Halbleiterlaser als Strahlungsquelle wurde aufgebaut und zur Ansteuerung der Photoleiter eingesetzt. Er emittiert optische Impulse bei 830nm Wellenlänge mit einer Energie von 4.25pJ, einer Spitzenleistung von 90mW und 50ps Halbwertsbreite (FWHM).

In einer Systemanalyse werden die Einflüsse einzelner Bauteile und parasitärer Grössen auf das Gesamtverhalten des optoelektronischen Samplingsystems untersucht und daraus die wichtigsten Dimensionierungsregeln abgeleitet. Anschliessend wird der Laboraufbau eines Abtastsystems mit einem koplanar montierten Photoleiter und dem optischen Impulsgenerator be-

schrieben. Mit diesem Aufbau werden elektrische Signale ausgemessen und die Ergebnisse mit denen eines kommerziellen elektrischen Samplers verglichen. Die gute Uebereinstimmung der Resultate reflektiert die an den einzelnen Komponenten gemessenen Eigenschaften. Sie beweist am praktischen Beispiel die Einsetzbarkeit der optoelektronischen Sampling-technik zur breitbandigen Messung elektrischer Signale.

OPTOELECTRONIC PICOSECOND SAMPLING SYSTEM WITH COPLANAR
MOUNTED PHOTOCONDUCTORS AND WITH SEMICONDUCTOR LASERS

ABSTRACT

Improvements in optoelectronics and in semiconductor technology enable still higher data rates in transmission systems and faster signal processing. Therefore the necessity to measure electrical signals with higher temporal resolution is increasing. While the resolution of pure electronic measuring techniques is limited to about 20ps by transit time effects and time constants which arise from the finite geometrical dimensions of the electronic devices, optical pulses with a duration of 1ps or less can be generated in fast optoelectronic circuits. These ultrashort optical pulses can reduce the temporal resolution of measuring systems to a few picoseconds, if they are used in conjunction with appropriate fast photoelectrical detectors.

The present essay reports on developments and investigations to promote the realization of compact and comfortable optoelectronic sampling systems for high speed electrical signals. Photoconductors are used as sampling devices whose high sensitivity allows to address them by the low power output pulses of semiconductor lasers. Since both photoconductor and semiconductor laser are small, they can be mounted together in a compact setup with a newly developed broadband mounting technique. The electrical signals to be measured can be fed to the sampler by means of coaxial lines and connectors.

The point of main effort was the development, fabrication and characterization of fast gallium-arsenide (GaAs) photoconductors. Wafers of different kind, with and without epitaxial layers, were used as source material for the prepara-

tion of the detectors. Detailed informations about technological processes are given. The properties of the different photoconductor types are investigated by static and dynamic measurements, and their behaviour is explained by simple physical models. Not only the source material employed, but also the contact structures affect the photoconductivity of the devices. Short response times, i.e. short carrier lifetimes of less than 40ps were measured in undoped epitaxial layers on Cr:GaAs. Despite the fast response of these photoconductors, a high sensitivity of 10mS/W was achieved with small active areas of 4x4 μ m or 8x8 μ m. This high sensitivity allows the detectors to be addressed by semiconductor lasers and to be used as sampling devices in a measuring system.

The photoconductive detectors are mounted on a dielectric sapphire substrate using a specially developed coplanar flip-chip mounting technique. Tapered planar waveguides are structured with photolithographic precision and are matched to the dimensions of the mounted devices. This method permits a broadband (DC to above 30GHz) and yet comfortable connection of the signal to be measured to the coplanar sampling mount over coaxial cables. The electrical properties of the mounting technique are investigated and the required technological processes are described.

An optical pulse generator to address the photoconductive sampling devices was realized with a semiconductor laser. It emits optical pulses at 830nm with an energy of 4.25pJ each, peak power of 90mW and 50ps pulsewidth (FWHM).

Finally the influences of the system components and of the parasitic quantities on the global performance of the optoelectronic sampling system are investigated and some important rules of system design are deduced. Then, a laboratory setup of the sampling system, including a coplanar mounted photoconductor and the semiconductor laser pulse generator, is presented. Electrical signals are measured with the new

optoelectronic sampling system and with a commercial electronic sampler. The results are compared and found to be in good agreement. They demonstrate the broadband capabilities of the single system components and the suitability of the optoelectronic technique to measure high speed electrical signals.