

---

DISS. ETH No. 13135

# **Rotary Switch and Current Monitor by Hall-Based Microsystems**

A thesis submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of

Doctor of Natural Sciences

presented by

Ralph Steiner Vanha  
Dipl. Phys. ETH Zürich  
Born August 2, 1966  
Citizen of Winterthur, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. H. Baltes, examiner  
Prof. em. Dr. Dr. h. c. Simon Middelhoek, co-examiner  
Dr. R. Vogt, co-examiner

1999

---

---

# ABSTRACT

This thesis reports the development of two Hall-based microsystems: a rotary switch and a current monitor. These microsystems employ integrated CMOS Hall devices sensitive to fields either perpendicular or parallel to the chip-surface. In exploiting commercial IC technology, cost effective batch fabrication with well established reliability is utilized. Combined with dedicated packaging solutions, inexpensive microsystems with superior performance have been realized.

Following an introduction to the field of magnetic sensors, theoretical aspects relevant to the design of integrated Hall devices are discussed. This includes general performance figures of merit as well as compensation techniques for the sensor offset voltage. Two compensation methods are treated in more detail: offset reduction using the technique of continuous spinning current and through use of a double-Hall sensor. Furthermore, a numerical model is presented to predict device performance from fabrication process simulations.

The remaining part of the thesis deals with the fabrication and characterization of CMOS Hall sensors and associated application demonstrators. Lateral and trench-Hall devices, sensitive to magnetic fields perpendicular and parallel to the chip surface, respectively, are presented. Both devices yield excellent sensitivity of 200 to 300 V/AT and linearity from 0.01 to 0.1% in a  $\pm 0.3$  T range. The low cross-sensitivity to out-of-plane magnetic induction makes trench-Hall devices well suited for vector field measurements.

The first demonstrator reported shows a rotary switch employing the vertical trench-Hall device. The application is intended for angular measurement of high accuracy in a harsh environment involving mechanical loading and a wide temperature range. The measurement principle implies a permanent magnet attached to an axis of rotation. By detecting the two components of the magnetic induction  $B_x$  and  $B_y$  parallel to the sensor chip surface, robustness against mechanical tolerances of the packaging is obtained. The demonstrator exhibits a resolution smaller than  $0.2^\circ$  over  $360^\circ$ . The second application example is a current monitor using lead-on-chip packaging technology. The entire system fabrication is in line with commercial IC mass manufacturing. The system features galvanically isolated current detection up to 20 A with an accuracy of 150 mA at 100 Hz.

# ZUSAMMENFASSUNG

Im Zentrum dieser Arbeit stehen zwei Mikrosysteme: Ein Drehschalter und ein Stromsensor, deren Messprinzip auf integrierten Hall Sensoren beruht. Die Hall Sensoren, hergestellt in einem CMOS Fabrikationsprozess, weisen eine Sensitivität senkrecht oder parallel zur Chipoberfläche auf. Die Verwendung von IC-Technologie und massgeschneiderten Verpackungslösungen erlaubt eine kostengünstige Massenfabrikation bei gleichzeitig hoher Zuverlässigkeit.

Nach einer Einführung in das Gebiet der Magnetfeldsensoren werden theoretische Aspekte zur Funktion von integrierten Hall Sensoren diskutiert. Dabei handelt es sich um allgemeine Kenndaten der Sensoren und um Verfahren der Offset-Reduktion. Folgende Reduktionsverfahren werden erläutert: das 'Continuous Spinning Current'-Verfahren und das Verfahren mit einem Doppel-Hall Sensor. Weiter wird die Theorie zur Simulation eines Hall Sensors vorgestellt, welche als Randbedingung lediglich Daten aus Prozess-Simulationen benötigt.

Weitere Teile dieser Arbeit handeln von der Herstellung und Charakterisierung von CMOS Hall Sensoren, sowie deren Anwendung. Der verwendete laterale Hall Sensor weist eine Sensitivität von etwa 200 V/AT senkrecht zur Chipoberfläche auf (Linearität: 0.01% für  $\pm 0.3T$ ). Der Trench-Hall Sensor reagiert auf magnetische Felder in der Chipebene mit einer Sensitivität von ca. 300 V/AT (Linearität: 0.1% für  $\pm 0.3T$ ). Die starke Richtungsabhängigkeit der Sensitivität ermöglicht dabei eine Vektormessung des Magnetfeldes.

In dieser Arbeit wird ein Drehschalter vorgestellt, welcher auf Trench-Hall Sensoren basiert. Zur Winkelbestimmung wird die Richtung des Magnetfeldes gemessen, das von einem Permanentmagneten auf einer Achse erzeugt wird. Diese Methode erlaubt eine hohe Messauflösung kleiner  $0.2^\circ$  über einen Bereich von  $360^\circ$ . Dabei wird die Auflösung weder durch äussere mechanische Einflüsse, Temperaturänderungen oder Gehäusetoleranzen beeinträchtigt. Weiter wird ein Stromsensor vorgestellt, der mit dem 'Lead-On-Chip'-Verfahren hergestellt wurde. Der gesamte Herstellungsprozess deckt sich mit kommerziellen Halbleiter-Herstellungsmethoden. Mit dem vorgestellten Stromsensor können Ströme bis zu 20 A, mit einer Genauigkeit von 150 mA bei 100 Hz, galvanisch getrennt gemessen werden.