

Diss. ETH Nr. 15730

*Durchflussmesser für hochreine
und aggressive Flüssigkeiten*

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

DANIEL CHRISTIAN SCHRAG

Dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 29. Juli 1975
von Bassersdorf ZH

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. J. Hugel, Referent
Prof. Dr. J. Kolar, Korreferent

2004

Kurzfassung

Durchflussmessungen in Anwendungen der Halbleiterindustrie, wie Ätzprozesse, Reinigungsprozesse, Chemical Mechanical Polishing und Beschichtungsprozesse, sowie Prozesse der chemischen Industrie stellen hohe Anforderungen an den Durchflussmesser. Bei Flüssigkeitskomponenten wie Flusssäure, Schwefelsäure, Salpetersäure sowie diversen Lösungsmitteln muss über eine längere Dauer eine zuverlässige Messung gewährleistet sein.

Basierend auf einem neuen Messprinzip wurden Konzepte zur Durchflussmessung untersucht und neue Durchflussmesser entwickelt. Diese neuen Durchflussmesser bestehen im Wesentlichen aus zwei Hauptbestandteilen: Einem Schwebekörper mit einem axial polarisierten Permanentmagneten bestückt und einem Messrohr mit Spule. Auf den umströmten Schwebekörper wirkt eine dem Durchfluss proportionale Fluidkraft. Mittels der Spule wird ein elektromagnetisches Feld erzeugt, welches den Schwebekörper entweder anzieht oder abstösst. Die Position des Schwebekörpers wird über einen Regelkreis konstant gehalten und somit kann aus dem durch die Spule fließenden Regelstrom die Fluidkraft und daraus die Durchflussrate exakt bestimmt werden. Der Schwebekörper wird frei schwebend im Messrohr zentriert. Dies geschieht in axialer Richtung mittels aktiver magnetischer Lagerung und in radialer Richtung durch fluiddynamische Bernoulli-Kräfte. Dadurch kann ein Partikelabrieb und eine damit verbundene Verunreinigung der Prozessflüssigkeit verhindert werden, welches neben der chemischen Resistenz eine wichtige Bedingung für den Einsatz in der Halbleiterentwicklung darstellt.

Die entwickelten Durchflussmesser decken den gewünschten Messbereich 20 - 250 ml/min, 0.5 - 2.5 l/min, 1.0 - 5.0 l/min, 2.0 - 10 l/min mit einer Wiederholbarkeit von besser als $\pm 0.5\%$ des Messbereiches ab. Die Genauigkeit der Durchflussmessung beträgt $\pm 1\%$ oder besser. Neben einer hohen Genauigkeit zeichnet sich der Durchflussmesser für höhere Durchflussraten aus, durch eine sehr kleine Viskositätsabhängigkeit von $\pm 0.8\%$ im Bereich von 1 - 30 mPas, eine nur sehr kleine Empfindlichkeit auf Störungen durch Mehrphasenströmungen und einer schnellen Anregelzeit.

Der einfache modulare Aufbau des Durchflussmessers und des elektronischen Systems aus Standard-Komponenten ermöglicht eine günstige Herstellung, welches den Durchflussmesser auch für ein Einsatz außerhalb der Halbleiterfertigung für aggressive und reine Flüssigkeiten interessant macht.

Abstract

Flow measurement in processes like etching, cleaning, chemical mechanical polishing and coating in semiconductor manufacturing and chemical industries require high performance flowmeters. Using fluid components like hydrofluoric acid, sulfuric acid, nitric acid as well as different solvents, requires a precise flow rate measurement.

Based on a new measurement principle, various concepts of flow rate measurement have been investigated and new flowmeters developed. Those new flowmeters are made up of two main components: A floating body containing an axial polarized permanent magnet and a measurement tube with a coil. The fluid flow in the measurement tube exerts a fluid force on the floating body proportional to the flow rate. Using the coil, an electromagnetic field is generated, exerting a force on the floating body. The position of the floating body is fixed by a control loop. By measuring the control current in the coil the fluid force and the flow rate is precisely gathered.

The floating body is freely suspended in the measurement tube. While the axial direction is controlled by active magnetic suspension, the radial directions are centered by Bernoulli-forces. This avoids particle generation and prevents contamination of the liquid. In addition to its chemical resistance, this presents an important requirement in the semiconductor manufacturing process.

The developed flowmeters cover the desired measurement range 20 - 250 ml/min, 0.5 - 2.5 l/min, 1.0 - 5.0 l/min, 2.0 - 10 l/min with a repeatability of better than $\pm 0.5\%$ of full scale with an accuracy of better than $\pm 1\%$ of full scale.

In addition to its high precision, the flowmeter for higher flow rates

features a very low viscous dependency of $\pm 0.8\%$ in a range of 1 - 30 mPas, a low sensitivity to disturbances of multi phase flow, and high measurement dynamics.

The simple modular design of the flowmeter and the construction of the electronics system with standard components allows inexpensive manufacturing, creating market opportunities outside the semiconductor industry.