

Diss. ETH Nr. 18178

Integriertes magnetisches Lagerungs- und Antriebssystem für Halbleiterwafer

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

THOMAS CHRISTIAN SCHNEEBERGER

Dipl. El.-Ing. ETH
geboren am 14. Juni 1977
von Orpund BE

Angenommen auf Antrag von

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

2008

Kurzfassung

Der anhaltende Trend zu immer komplexeren und kleineren Strukturen in Halbleiterbausteinen ist verbunden mit enorm wachsenden Anforderungen bezüglich Reinheit und Kontrollierbarkeit der Produktionsumgebung. Kritische Bearbeitungsschritte werden deshalb zunehmend in geschlossenen Prozesskammern durchgeführt.

Durch Rotation des Halbleiterwafers werden die Prozesschemikalien während eines Bearbeitungsschrittes zuerst gleichmässig auf der Oberfläche aufgebracht und anschliessend abgeschleudert; eine entsprechende Antriebseinheit kann jedoch wegen der aggressiven Prozesschemikalien und aus Gründen des Explosionsschutzes nicht innerhalb der Prozesskammer installiert werden. Deshalb muss die Drehachse durch die Wand der Prozesskammer geführt werden. Über die Abdichtung der Drehachse können nun einerseits Schmiermittel und Abriebpartikel in die Prozesskammer gelangen und andererseits gesundheitsgefährdende Stoffe in die Umgebung entweichen.

Mit dem Einsatz von magnetgelagerten Antrieben werden solche stör anfällige und niemals perfekte Dichtungen überflüssig. Der Rotor kann dank der kontaktlosen Lagerung von aussen durch die Prozesskammerwand in der Schwebe gehalten und auch gedreht werden. Sämtliche aktive Komponenten von Lager und Antrieb können nun ausserhalb der Kammer angeordnet werden.

Um eine kompakte Bauweise der Prozesskammer zu erreichen, ist der Einsatz von magnetgelagerten Scheibenläufermotoren besonders vorteilhaft. Für Rotoren grösseren Durchmessers eignet sich hier besonders die in dieser Arbeit thematisierte Ausführung mit ringförmigem Rotor und ei-

nem homopolaren Magnetlager, das einen vielpoligen Antrieb zulässt und einen Gleichlauf bei tiefen Drehzahlen sowie Stabilität bei hohen Drehzahlen garantiert. Um eine kompakte Bauform mit nur einer Lagerebene zu erreichen, werden die Rotormagnete sowohl zur magnetischen Vorspannung des Lagers als auch zum Aufbau des Antriebsfeldes eingesetzt.

Eine mechanisch stabile und chemisch beständige Prozesskammer kann indes nur gebaut werden, wenn der realisierbare magnetische Luftspalt eine ausreichende Wandstärke zulässt. In diesem Zusammenhang werden in der vorliegenden Arbeit Lösungsansätze beschrieben, die gegenüber bisherigen magnetgelagerten Scheibenläufermotoren eine substantielle Vergrößerung des Luftspalts ermöglichen, und dennoch beispielsweise eine genügende Lagersteifigkeit oder ein ausreichendes Beschleunigungsvermögen zulassen.

Anhand der realisierten Versuchsanlage wird schliesslich erstmalig die Machbarkeit eines integrierten magnetischen Lagerungs- und Antriebssystems zur Bearbeitung von Halbleiterwafern aufgezeigt.

Abstract

As the lithographic node in highly integrated circuits still follows Moore's Law of miniaturization, facilities and devices for the manufacturing of these circuits are subject to ever rising standards of process controllability and cleanliness. These standards are met best when the majority of the crucial production steps take place inside of sealed chambers or containments.

While being a standard task for most of the production steps, designing a hermetically sealed process chamber can pose a serious challenge whenever any rotation of the wafer is required. Placing an electric motor inside of the sealed chamber will violate explosion safety regulations. Mounting a regular electric drive outside of a processing chamber increases the risk of both inferior product quality due to submicron grit from the bearings and sealings and contamination of the surrounding atmosphere with harmful chemical compounds.

Electric drives based on magnetic bearing technology do not require any lead-through of a driving shaft and therefore offer a promising solution to these problems. In such a design, the rotor is driven and radially held in place by coils mounted on the outside of the chamber and is thereby kept from any mechanical contact with the inner walls of the latter.

Processing chambers that offer mechanical sturdiness and resistance to chemically aggressive media require relatively large air gap widths when being operated by a device that is based on the aforementioned magnetic-bearing technology.

The present work deals with magnetically supported drives of shrunk-

ABSTRACT

on-disk rotors having a large diameter and allowing for air gap widths that are considerably larger than the ones described in the literature so far.

Particularly, the design of magnetic drives for annular rotors with a high aspect ratio and a large air gap width is addressed. Here, the combination of a homopolar bearing with a multipolar drive - in not more than one axial plane - allowed for ganging at low rotational speed as well as for stable operation in the high-speed range, thereby proving superior to other designs.

It is demonstrated how the magnets of the rotor can be used for pre-loading of the bearing as well as for establishing the magnetic field of the drive. It is also shown that, while air gap widths can be substantially with these design approaches, acceleration of the rotor and over-all operation stability are still sufficient.

The feasibility of an integrated system for wafer processing based on magnetic bearing technology is demonstrated on a pilot setup operated in our laboratory. Experimental and numerical results were in good agreement.