



## Ohne Silizium kein Computer Chemie und die digitalisierte Welt

**Mit Hilfe des chemischen Elementes Silizium ist der Traum einer digitalisierten Welt Realität geworden. Silizium ist nach dem Sauerstoff das zweithäufigste Element. Es ist notwendig für die Mikroprozessoren, die Speicherkapazität und die Rechengeschwindigkeit.**

**D**ie Faustkeile der Steinzeit waren aus Stein, die Schwerter der Bronzezeit aus Bronze, und die Äxte der Eisenzeit bestanden aus Eisen. Werkstoffe prägen unser Bild von den großen Perioden der Menschheitsgeschichte. Heute lebt man daher folgerichtig in der Siliziumzeit.

Kaum eine moderne Weiterentwicklung der primitiven Werkzeuge unserer Vorfahren kommt ohne dieses Element aus. Ob Telefon, Fernsehgerät oder Automobil, ohne Silizium funktioniert nichts von alledem.

Silizium ist das zweithäufigste Element nach dem Sauerstoff. Im Periodensystem der chemischen Elemente nimmt es den 14. Platz ein. Es ist dunkelgrau bis schwarz und hat eine Schmelztemperatur von 1410 Grad Celsius.

Mehr als ein Viertel der gesamten Erdkruste besteht aus Silizium, gebunden in Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ), auch Quarz genannt. Als Quarzsand bedeckt Silizium weite Teile der Erde. Die reine Form des Quarzes ist der Bergkristall; Opale hingegen bestehen aus amorphen beziehungsweise feinkristallinen Modifikationen dieser anorganischen Verbindung. Jöns Jacob Berzelius entdeckte das Silizium im Jahr 1823. Er ahnte nicht, was er gefunden hatte.

Information oder, genauer gesagt, die Verarbeitung von Informationen, ist heute untrennbar mit dem chemischen Element Silizium verbunden. Die Nachkommen der Werkzeuge aus der Eisenzeit, wie Schreibmaschinen oder mechanische Rechenmaschinen, haben ausgedient. Texte und Zahlen stecken heute als Daten

in Speichern aus Silizium, zerstückelt in Bits, den Elementarteilchen der Informationsgesellschaft. In Mikroprozessoren aus Silizium machen sich Computerprogramme über diese Daten her, rechnen, formatieren und kalkulieren.

Was hat Silizium, was andere Elemente nicht haben? Silizium leitet elektrischen Strom. Im Gegensatz zu Metallen wie Kupfer oder Aluminium wird die Leitfähigkeit von Silizium bei steigender Temperatur aber nicht schlechter, sondern immer besser. Stoffe mit dieser Eigenschaft heißen Halbleiter. Die Sternstunde der Halbleiter schlug im Jahr 1956, als der Nobelpreis für Physik an William B. Shockley, John Bardeen und Walter H. Brattain verliehen wurde. Sie hatten den Transistor entwickelt, ein elektronisches Bauelement, das die Welt verändern sollte.

### Von der Röhre zum Transistor

Der Transistor, ein Kurzwort für die englische Bezeichnung Transfer Resistor (Übertragungswiderstand), funktioniert ähnlich wie die damals oft verwendete dreipolige Elektronenröhre (Triode) und kann wie diese elektrische Ströme verstärken und schalten. Schon die ersten Transistoren aus Germanium – ebenfalls ein Halbleiter – waren viel kleiner als elektronische Röhren und brauchten erheblich weniger Strom. Wozu Transistoren taugten, zeigte sich bald in nützlichen Geräten wie dem transportablen Rundfunkempfänger, dem „Transistorradio“. Kleine, preisgünstige und sparsame elektronische Halbleiterbauelemente sorgten dafür, daß leistungsstarke Geräte gebaut werden konnten, kompakt und zu erschwinglichen Preisen. Es lag auf der Hand, auch logische Operationen mit Hilfe von Transistoren auszuführen und so das Feld für



Rechenmaschinen zu erobern. Allerdings waren Tausende von Transistoren notwendig, um einen digitalen Rechner zu bauen. Schnell war daher die Idee geboren, mehrere Transistoren zu einem Bauelement zusammenzufassen: Die integrierte Schaltung (IC) war erfunden.

## Vom Transistor zum Chip

Die ersten ihrer Art bestanden Mitte der 60er Jahre aus ungefähr 60 Transistoren, aufgebaut auf einem Siliziumscheibchen von der Größe eines Fingernagels. Einige Jahre später, im Jahr 1971, schaffte es ein junges Unternehmen, auf der gleichen Fläche 2300 Transistoren unterzubringen: Intel brachte den ersten Mikroprozessor mit der Typenbezeichnung 4004 auf den Markt.

Damit begann eine technologische Entwicklung, deren Geschwindigkeit atemberaubend ist. Nach wie vor gilt das von Gordon Moore, einem der Gründer von Intel, postulierte „Moore'sche Gesetz“, wonach sich die Zahl der Transistoren auf einem Mikrochip alle 18 Monate verdoppelt. Derzeitiger Höhepunkt dieser wahnwitzigen Entwicklung ist ein Pentium-Prozessor, der 5,5 Millionen Transistoren auf einer Fläche von ungefähr 20 Quadratzentimetern vereint.

Der Bedarf an Silizium wächst. Die Hersteller der Integrierten Schaltkreise kaufen das Element in Form von „Wafers“, runden Scheiben aus reinstem Silizium mit einem Durchmesser bis zu 30 Zentimetern und weniger als einem Millimeter Dicke. Mit einem Marktanteil von rund zwölf Prozent ist der Wacker Siltronic Konzern einer der Marktführer in diesem dynamischen Geschäft.

Der Halbleitermarkt und damit der Markt für reinstes Silizium wird weiter wachsen. Allein im Jahr 1995 betrug das Umsatzvolumen 150 Milliarden Dollar. Davon wurden sechs

Milliarden mit „Silizium-Wafern“ umgesetzt. Bis zur Jahrtausendwende wird der Bedarf an Speicherbausteinen und Mikroprozessoren für Computer und Kommunikationssysteme den Umsatz mit Halbleitern auf etwa 300 Milliarden Dollar ansteigen lassen.

Die Datenmenge, die auf der Fläche einer Reinsiliziumscheibe untergebracht werden kann, ist gigantisch. Aus einer einzigen Scheibe mit einer Fläche von drei Quadratmetern könnten die Chip-Produzenten 150



Fotos: zg

Speicherbausteine herstellen, die jeweils 16 Millionen Bits (16 Mb) aufnehmen könnten. Eine Scheibe böte daher 2.400 Mb Speicherplatz. Zum Vergleich: Um den Text abzuspeichern, der auf eine DIN-A4-Seite paßt, sind ungefähr 20 000 Bits notwendig. Auf eine Scheibe von drei Quadratmetern Größe würden daher etwa 120 000 DIN-A4-Seiten passen. Die unglaublichen Mengen potentiellen Speicherplatzes könnten mit allen Texten der Welt nicht gefüllt werden. Doch längst werden nicht nur Texte, sondern auch Bilder, Töne

oder Filme digitalisiert und in Computern verarbeitet. Daher wächst und wächst der Speicherhunger der Computerindustrie. Gleichzeitig fallen die Preise, die je Megabit Speicherplatz auf dem Halbleitermarkt zu erzielen sind.

Zwei Trends folgen dieser Entwicklung. Zum einen wird die Integrationsdichte immer höher und zum anderen werden die Reinsiliziumscheiben immer größer. Für die in wenigen Jahren erwartete Generation der 256 Megabit-Chips wird zur Zeit die 300-Millimeter-Scheibe entwickelt. Auf jedem Quadratmillimeter dieser Scheiben werden dann eine Million Bits Platz haben. Bei den heutigen 16-Megabit-Chips passen auf die gleiche Fläche „nur“ 123 000 Bits.

Der Drang nach größeren Scheiben ist mit einer einfachen Rechnung zu erklären. Beim Übergang von 20 auf 30 Zentimeter Durchmesser steigt die Anzahl der Speicherchips, die auf einer Scheibe untergebracht werden können, um das 2,5fache. Die Investitionen für die Umstellung der Produktionslinien auf den neuen Durchmesser steigen jedoch nur um das 1,7fache. Der Kostensteigerung um den Faktor 1,7 steht also eine höhere Durchsatzrate von 2,5 entgegen. Das bedeutet, daß die gesamten Investitionskosten pro Chip sogar abnehmen – und zwar um ungefähr 30 Prozent.

Für die Produzenten von Reinsiliziumscheiben ist der Übergang zum größeren Durchmesser eine technologische Herausforderung. Nur zu einem geringen Teil kann auf vorhandene Prozesse zurückgegriffen werden.

Europa ist auf dem Weg, Japan und Amerika in der Halbleitertechnologie einzuholen. Die Europäische Union hat dazu die „Joint European Submicron Silicon Initiative“ (JESSI) ins Leben gerufen, in der ungefähr 2700 Wissenschaftler und Ingenieure zusammenarbeiten. Neu