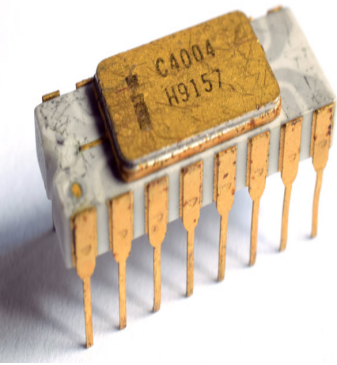




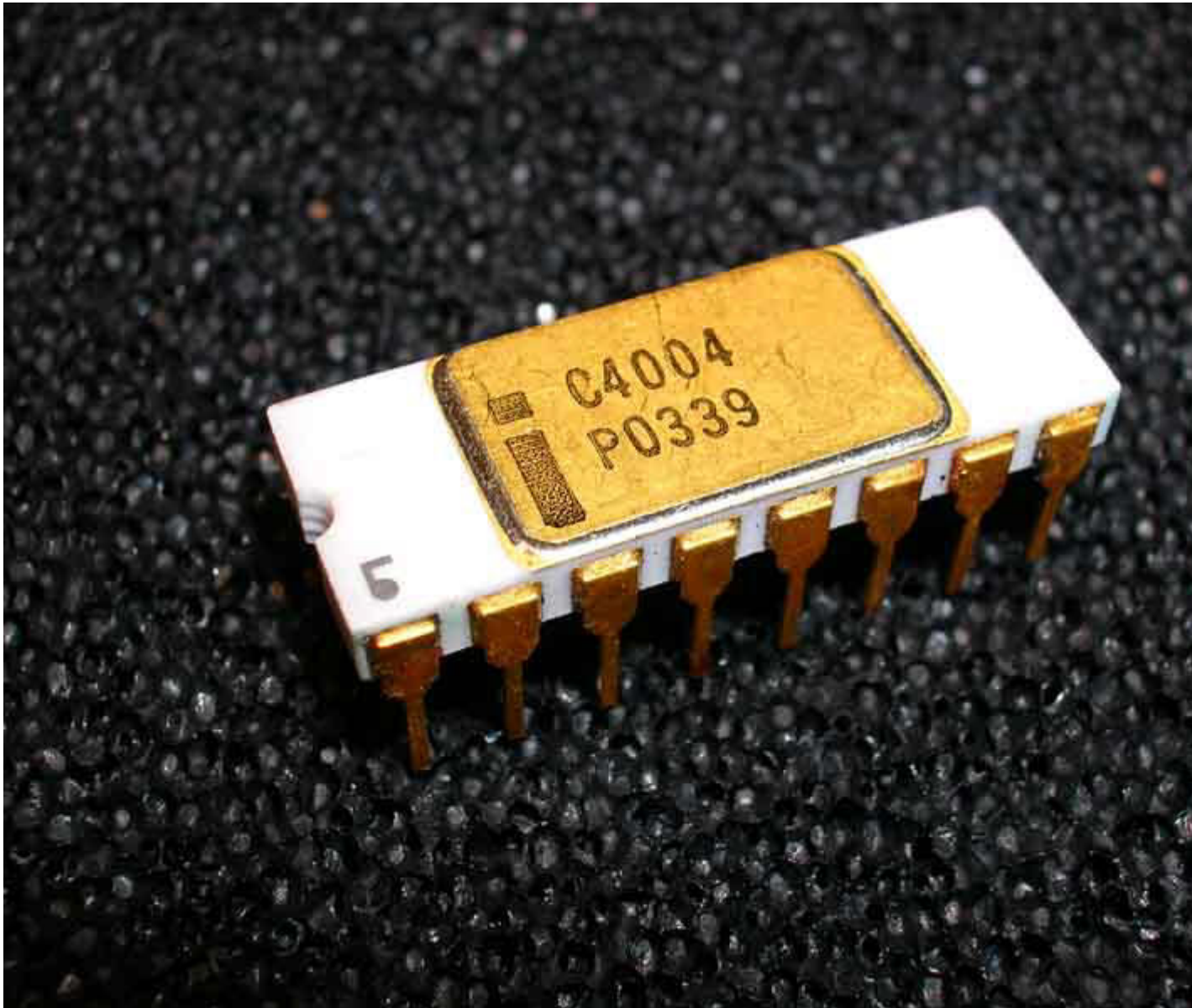
Mikrowelten – Geschichten der Computertechnik – Teil 3: Kalifornien und Texas erobern die Welt

Description

In den 1970er Jahren wurden zahlreiche Grundlagen geschaffen, die bis heute spürbar sind. Allen voran die Firmen Texas Instruments und Intel, die mit dem TMS1000 und 4004 einen großen Schritt taten, beeinflussten spätere Generationen. Dabei handelt es sich um die ersten kommerziellen Mikroprozessoren / Mikrocontroller. Sie wurden in Massen produziert und veränderten den Alltag der Menschen, ohne dass diese die „magischen Chips“ bewusst wahrnahmen.

Was ist ein Mikroprozessor?

Es ist ein Computerprozessor, bei dem die Datenverarbeitungslogik und die Steuerung in einem einzigen integrierten Schaltkreis oder in einer kleinen Anzahl integrierter Schaltkreise enthalten sind. Der Mikroprozessor beinhaltet die Arithmetik-, Logik- und Steuerschaltungen, die für die Funktionen der zentralen Recheneinheit eines Computers erforderlich sind.



Intel 4004 – Foto: Wikipedia

Der integrierte Schaltkreis ist in der Lage, Programmanweisungen zu interpretieren und zu verüben und arithmetische Operationen auszuführen. Er ist ein taktgesteuerter, registerbasierter, digitaler integrierter Schaltkreis, der binäre Daten als Eingabe akzeptiert, sie gemäß den in seinem Speicher gespeicherten Anweisungen verarbeitet und die Ergebnisse (ebenfalls in binärer Form) als Ausgabe liefert.

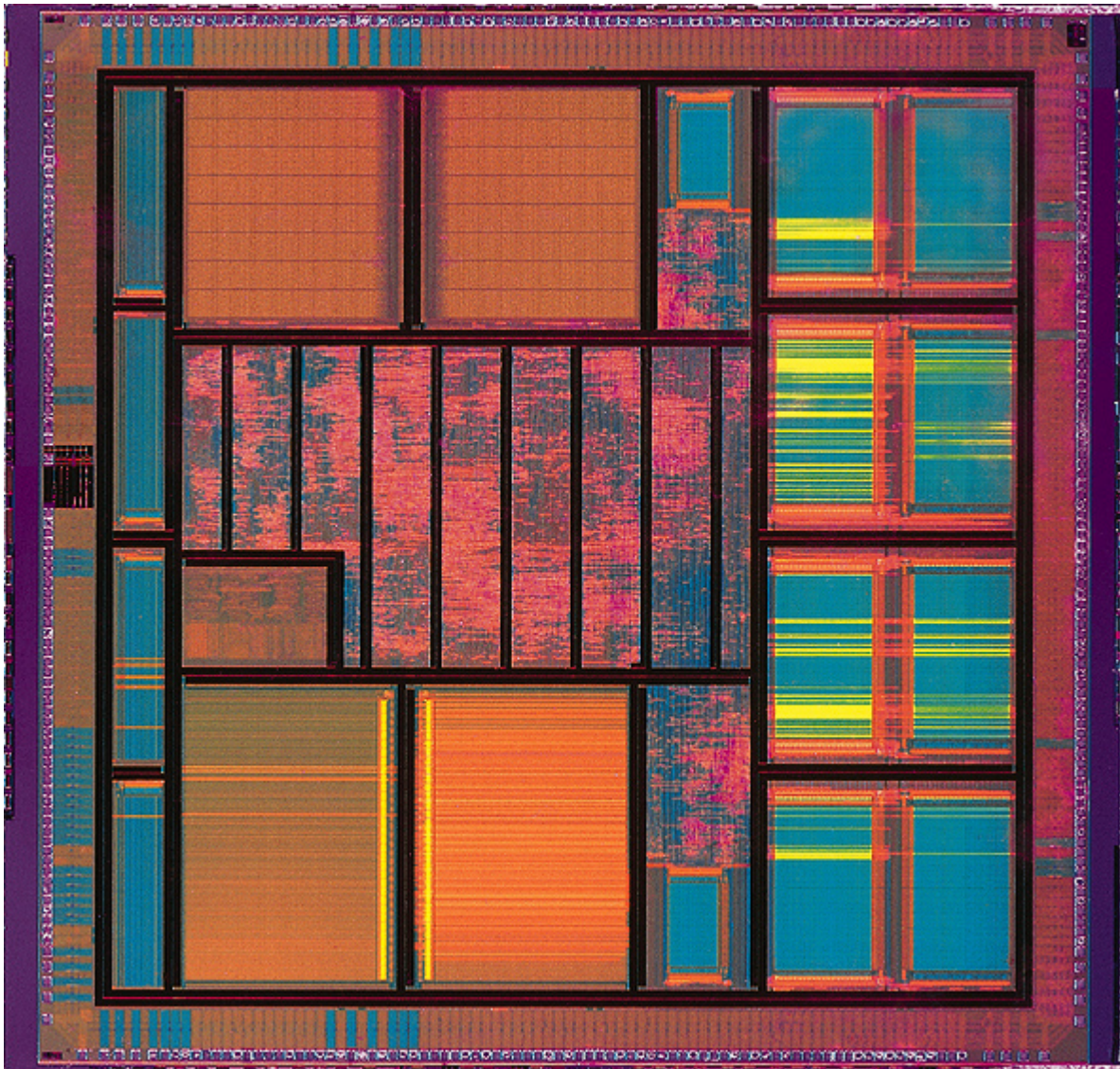
Mikroprozessoren enthalten sowohl kombinatorische als auch sequentielle digitale Logik. Sie arbeiten mit Zahlen und Symbolen.

Die CPU

Eine Zentraleinheit (central processing unit, kurz CPU), auch Zentralprozessor, Hauptprozessor oder Prozessor genannt, ist der elektronische Schaltkreis, der die Anweisungen eines Computerprogramms ausführt. Sie führt grundlegende arithmetische, logische, steuernde und Ein-/Ausgabe-Operationen

(E/A) aus. Dies steht im Gegensatz zu externen Komponenten wie Hauptspeicher und E/A-Schaltkreisen und spezialisierten Prozessoren wie Grafikverarbeitungseinheiten (GPUs).

Die Verschmelzung einer ganzen CPU auf einem einzigen oder wenigen integrierten Schaltkreisen unter Verwendung der Very-Large-Scale-Integration (VLSI) hat die Kosten für die Verarbeitungsleistung erheblich gesenkt. Solche Schaltkreise werden durch hochautomatisierte Metall-Oxid-Halbleiter (MOS)-Fertigungsprozesse in großen Stückzahlen hergestellt, was zu einem relativ niedrigen Stückpreis führt.



Ein VLSI integrated-circuit die – Foto: Wikipedia

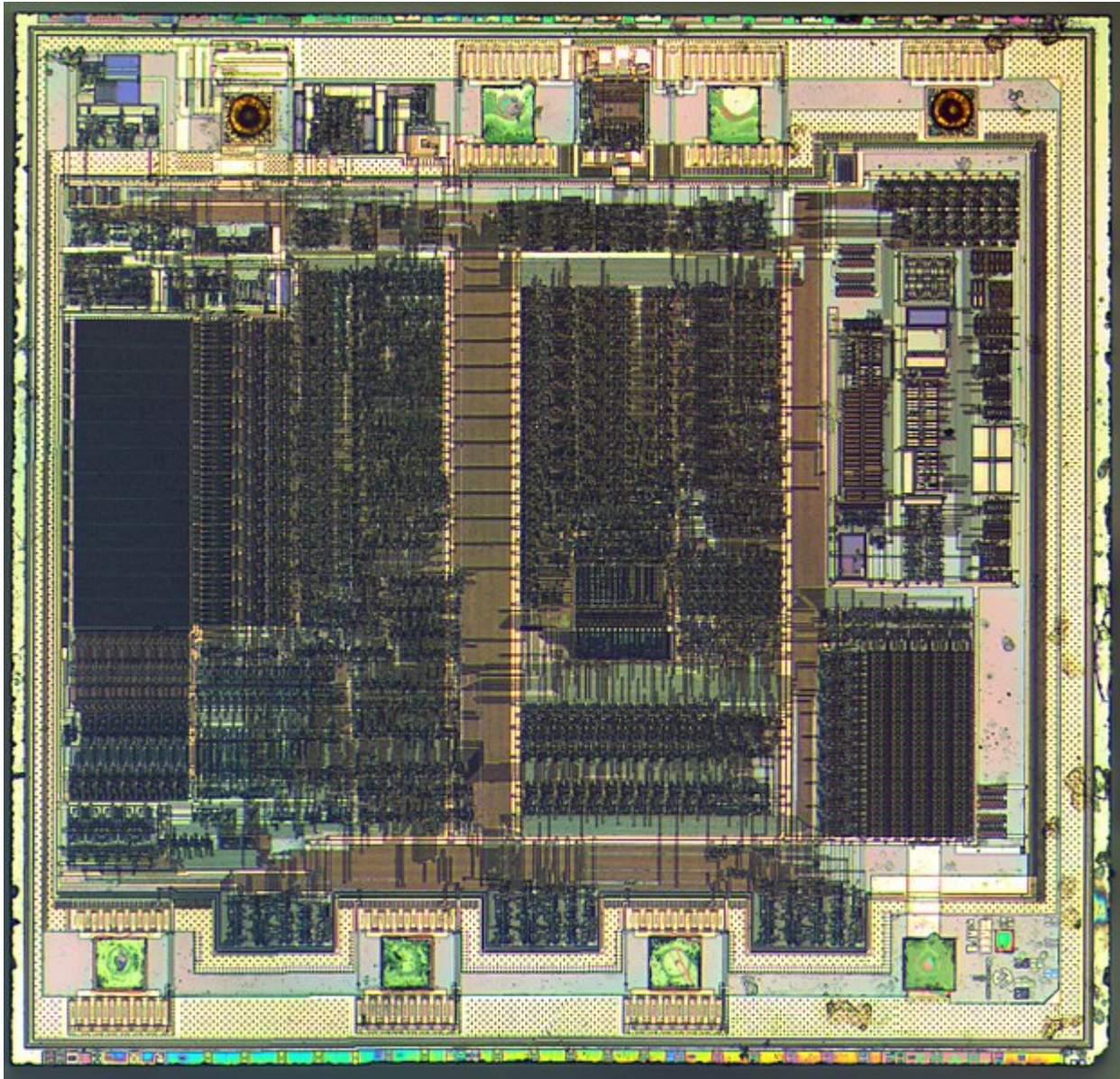
Vor der Entwicklung von Mikroprozessoren wurden Kleincomputer mit Hilfe von Leiterplattenstapeln mit vielen mittelgroßen und kleinen integrierten Schaltkreisen, typischerweise vom Typ TTL, gebaut. Bei den CPUs wurde dies in einem oder wenigen großen ICs zusammengefasst.

Was ist ein Mikrocontroller?

Ein Mikrocontroller (MCU für Microcontroller Unit) ist ein kleiner Computer auf einem einzigen MOS-

Chip (Integrated Circuit; IC). Er besteht aus eine oder mehreren CPUs zusammen mit Speicher und programmierbarer Eingangs-/Ausgangsperipherie. Ein Programmspeicher in Form von ferroelektrischem RAM, NOR-Flash oder OTP-ROM ist ebenfalls oft auf dem Chip enthalten, ebenso wie eine kleine Menge RAM.

Sie sind für eingebettete Anwendungen konzipiert. Da die Übergänge zwischen Mikrocontrollern und Mikroprozessoren fast fließend sind, ist eine klare Trennung nicht immer einfach. Ein Prozessor konzentriert sich i. d. R. auf die Hauptaufgabe, der Berechnung. Ein Mikrocontroller hingegen enthält Zusatzmodule.



Die eines voll statischen 8-Bit-CMOS-Mikrocontrollers PIC12C508 auf EEPROM/EPROM/ROM-Basis, hergestellt von Microchip Technology in einem 1200-Nanometer-Prozess – Foto: Wikipedia

In der modernen Terminologie ist ein Mikrocontroller einem System auf einem Chip (SoC) ähnlich, jedoch weniger anspruchsvoll als dieses. Ein SoC kann einen Mikrocontroller als eine seiner

Komponenten enthalten, integriert ihn aber i. d. R. mit fortschrittlichen Peripheriegeräten wie einer Grafikverarbeitungseinheit (GPU), einem Wi-Fi-Modul oder einem bis mehreren Koprozessoren.

Mikrocontroller werden in automatisch gesteuerten Produkten und Geräten verwendet, z. B. in Motorsteuerungssystemen von Kraftfahrzeugen, implantierbaren medizinischen Apparaturen, Fernbedienungen, Büromaschinen, Haushaltsgeräten, Elektrowerkzeugen, Spielzeug und anderen eingebetteten Systemen.

Texas Instruments

Texas Instruments Incorporated (TI) ist ein amerikanisches Technologieunternehmen mit Hauptsitz in Dallas. Das Unternehmen wurde 1930 gegründet und beschäftigt heute rund 30.000 Personen. Hier werden Halbleiter und verschiedene integrierte Schaltkreise entwickelt und hergestellt. Gemessen am Umsatzvolumen gehört es zu den zehn größten Halbleiterunternehmen weltweit.



Cecil Howard Green – Foto: Wikipedia

Tatsächlich entstand Texas Instruments in der heutigen Form erst 1951 nach einer Umstrukturierung von Geophysical Service Incorporated (GSI), welches 1930 gegründet wurde und Geräte für die seismische Industrie sowie Verteidigungselektronik herstellte. Die Gründer von TI waren Cecil H. Green, J. Erik Jonsson, Eugene McDermott und Patrick E. Haggerty. McDermott war einer der ursprünglichen Gründer von GSI. Cecil H. Green wurde übrigens beeindruckende 102 Jahre alt.

Die frühen Jahre

In den frühen Jahren zeichnete sich das Unternehmen vor allem durch ihre Pionierarbeit aus. Anfang 1952 erwarb Texas Instruments eine Patentlizenz für die Produktion von Germaniumtransistoren von Western Electric, dem Produktionszweig von AT&T.

Am 1. Januar 1953 holte Haggerty Gordon Teal als Forschungsleiter in das Unternehmen. Gordon brachte sein Fachwissen über die Züchtung von Halbleiterkristallen mit.

TI produzierte 1954 den weltweit ersten kommerziellen Siliziumtransistor und entwickelte und fertigte im selben Jahr das erste Transistorradio. Jack Kilby erfand 1958 den integrierten Schaltkreis, während er in den Central Research Labs von TI arbeitete. Dafür erhielt er im Jahr 2000 den Nobelpreis für Physik.

1967 erfand TI den Taschenrechner und stellte 1970 den ersten Ein-Chip-Mikrocontroller vor, der alle Elemente des Rechnens auf einem Stück Silizium vereinte. Den meisten Menschen ist das Unternehmen heute noch als „die Taschenrechner Firma“ bekannt.

Die 70er

1971 erfand TI den Ein-Chip-Mikrocomputer und erhielt am 4. September 1973 das erste Patent auf einen Ein-Chip-Mikroprozessor (erfunden von Gary Boone).

Texas Instruments stellte 1978 den ersten Ein-Chip-Sprachsynthesizer mit linearer prädiktiver Codierung vor. 1976 begann TI mit einer Machbarkeitsstudie über speicherintensive Anwendungen für den damals in Entwicklung befindlichen Bubble-Speicher. Dabei konzentrierte man sich bald auf Sprachanwendungen. Dies führte zur Konstruktion des TMC0280, der zum ersten Mal auf einem einzigen Siliziumchip die menschliche Stimme elektronisch nachgebildet hat.

Der Heimcomputermarkt

1979 trat TI mit dem TI-99/4 in den Heimcomputermarkt ein. Sie konkurrierten mit Geräten wie dem Apple II, dem Tandy/Radio Shack TRS-80, der späteren Atari 400/800-Serie und dem Commodore VIC-20 (in Deutschland VC 20). Der TI-99/4A (1981), das Nachfolgemodell des 99/4, wurde Ende 1983 inmitten eines intensiven Preiskampfes eingestellt.



TI-99/4 – Foto: Wikipedia

Auf der Winter-CES 1983 zeigte TI die Modelle 99/2 und den Compact Computer 40 (CC-40), der sich an professionelle Anwender richtete. Der TI-Professional im selben Jahr reihte sich in die Riege der vielen erfolglosen DOS- und x86-basierten, aber nicht kompatiblen Konkurrenten zum IBM-PC ein. Die Gründer von Compaq kamen übrigens alle von TI. Das Unternehmen produzierte jahrelang erfolgreich PC-kompatible Laptops, bevor es sich vom Markt zurückzog und seine Produktlinie 1998 an Acer verkaufte.

Wege in die Zukunft

1987 erfand TI den digitalen Lichtverarbeitungsbaustein (auch als DLP-Chip bekannt), der als Grundlage für die DLP-Technologie und das DLP-Kino dient. 1990 brachte TI den beliebten Taschenrechner TI-81 auf den Markt und wurde damit zum Marktführer im Bereich der grafischen Taschenrechner. Das Verteidigungsgeschäft wurde 1997 an Raytheon verkauft. Dadurch konnte TI seinen Fokus auf digitale Lösungen verstärken. Nach der Übernahme von National Semiconductor im Jahr 2011 verfügte das Unternehmen über ein kombiniertes Portfolio von 45.000 analogen Produkten und Kunden-Design-Tools.

TMS1000

Die Mikrocontroller-Familie TMS1000 wurde 1974 eingeführt. Sie kombinierte eine 4-Bit-Zentraleinheit, einen Festwertspeicher (ROM), einen Arbeitsspeicher (RAM) und Ein-/Ausgabelösungen (E/A) zu einem kompletten „Computer auf einem Chip“. Er war für eingebettete Systeme in Automobilen, Haushaltsgeräten, Spielen und Messinstrumenten gedacht.

Es war der erste kommerzielle Mikrocontroller, der in großen Stückzahlen hergestellt wurde. Im Jahr 1974 konnten Chips dieser Familie für circa 2 \$ pro Stück gekauft werden. Bis 1979 wurden jährlich

etwa 26 Millionen verkauft.

Der TMS1000 wurde in Texas Instruments' eigenem Lernspielzeug Speak&Spell, dem programmierbaren Spielzeugfahrzeug Big Trak und in dem elektronischen Spiel Simon verwendet.

TMS0100-Serie

Den TI-Ingenieuren Gary Boone und Michael Cochran gelang es, den ersten Mikrocontroller zu entwickeln. Der TMS1802NC war ein Ein-Chip-Mikrocontroller, der am 17. September 1971 angekündigt wurde und einen Rechner mit vier Funktionen enthielt. Er war trotz seiner Bezeichnung nicht Teil der TMS-1000-Serie und wurde später in die TMS-1100-Serie umbenannt, die im Datamath-Rechner und im Sinclair Executive-Rechner verwendet wurde.

TMS1000-Serie

Die spätere TMS1000-Serie kam 1974 auf den Markt. Das Patent, damals „Mikrocomputer-Patent“ genannt, U.S. Patent 4,074,351, wurde Gary Boone und Michael J. Cochran von TI erteilt.



TMS1000 – Foto: Wikipedia

1000 Details

Die Chip-Familie umfasste Varianten sowohl in der ursprünglichen PMOS-Logik als auch in NMOS und CMOS. Zu den Produktvariationen gehörten verschiedene Größen von ROM und RAM, diverse E/A-Zahlen und ROMless-Versionen, die für die Entwicklung oder für die Verwendung mit externem ROM bestimmt waren. Der TMS1000 hatte 1024 x 8 Bits ROM, 64 x 4 Bits RAM und 23 Eingangs-/Ausgangsleitungen.

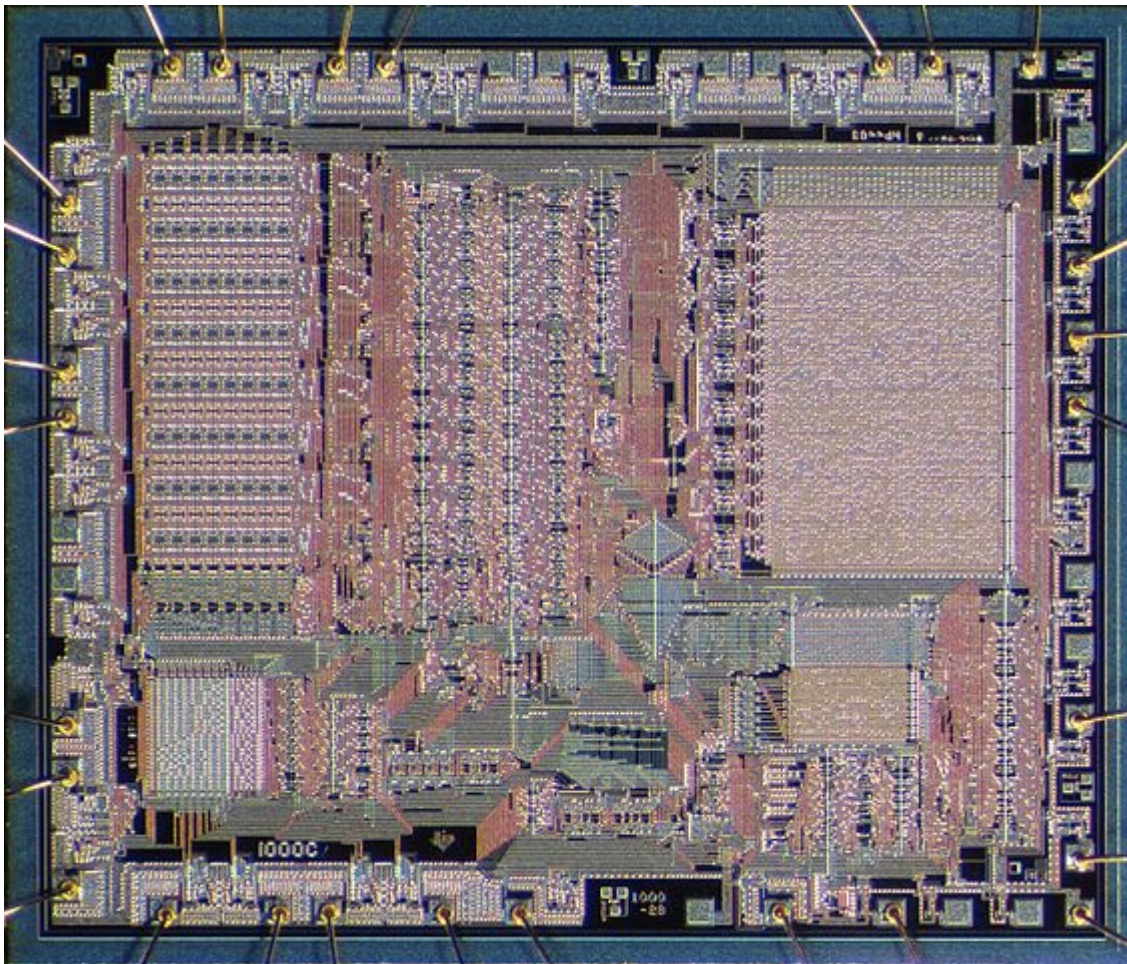
Es wurde ein maskenprogrammiertes ROM verwendet. Sobald der Benutzer ein fehlerbereinigtes Programm für die Produktion bereit hatte, schickte er es an Texas Instruments, die dann eine spezielle Maske zur Programmierung des On-Chip-ROM anfertigten. Das ROM konnte im Feld nicht verändert

werden. Der Inhalt war durch die vom Hersteller auf dem Chip festgelegten Muster dekretiert. Dieses Verfahren war zwar mit hohen Anfangskosten verbunden, aber die Produktionskosten waren sehr niedrig.

4 Bit

Alle internen Datenpfade des Prozessors waren 4 Bit breit. Programm-ROM und Daten-RAM wurden wie in einer Harvard-Architektur getrennt adressiert. Dies wurde ein typisches Merkmal von Mikrocontrollern vieler anderer Hersteller.

Die ALU (Arithmetic logic unit) verfügte über ein Carry-Flag, das einen Überlauf anzeigte und die Arithmetik mit mehrfacher Genauigkeit ermöglichte. Das On-Chip-RAM wurde durch X- und Y-Register adressiert, wobei X 4 Bits und Y entweder 2 oder 3 Bits hatte, je nach der Größe des RAM auf dem Bauteil. Der Programmzähler war 6 Bits breit, mit „Page“- und „Chapter“-Registern zur Adressierung von bis zu 2 KB ROM-Programmspeicher.



Chipaufnahme des Texas Instruments TMS1000C 4-Bit-Mikrocontrollers mit Masken-ROM (TMS1000JDLC) – Foto: Wikipedia

Es gab keinen Stack, aber ein Register, in dem der Programmzähler und das Carry-Flag gespeichert werden konnten, um eine Ebene von Unterprogrammen zu ermöglichen. Einige Mitglieder der Familie ermöglichten 2 oder 3 Ebenen. Eine Interrupt-Funktion war nicht vorgesehen.

Verschiedene Versionen

Einige Modelle hatten nur 4 E/A-Leitungen, da sie kein On-Chip-ROM besaßen und die begrenzte Anzahl von Gehäusepins für den Zugriff auf den Off-Chip-Programmspeicher benötigt wurde. Eine Version verfügte über spezielle Ausgänge für die Ansteuerung einer Vakuum-Fluoreszenzanzeige und ein programmierbares Logik-Array, das für die Ansteuerung von Siebensegmentanzeigen nützlich war. Vier Eingangsleitungen dienten z. B. der Abfrage von Tastatureingaben, und eine unterschiedliche Anzahl von Ausgangsleitungen diente der Steuerung externer Geräte oder der Abtastung der Tastaturzeilen.

Die Befehlssätze variierten je nach Modell geringfügig, wobei 43 Befehle im Basissatz und 54 in einigen Familienmitgliedern verfügbar waren; die Befehle waren 8 Bit lang. Es gab BCD-Arithmetikbefehle, aber keine für logisches UND oder ODER von Registern. Unterprogramme waren in manchen Teilen auf eine Ebene beschränkt (ein Unterprogramm konnte kein weiteres Unterprogramm aufrufen), während in anderen Teilen 2 oder 3 Ebenen verfügbar waren.

Die Ausführung eines Befehls dauerte bei den NMOS- und PMOS-Bausteinen zwischen 10 und 15 Mikrosekunden, bei einigen CMOS-Bausteinen waren sogar nur 6 Mikrosekunden möglich. Der interne Oszillator sorgte für eine effektive Taktrate von etwa 0,3 Megahertz.

Die TMS1000-Bauteile waren in Through-Hole-Dual-In-Line-Gehäusen mit 28 oder 40 Pins untergebracht, aber einige Modelle für die Prototypenerstellung waren in 64-Pin-Gehäusen platziert. Alle Versionen hatten einen Temperaturbereich von 0 bis 70 °C.

Intel

Die Intel-Corporation aus Kalifornien wurde von Gordon E. Moore (bekannt für das „Mooresche Gesetz“), einem Chemiker, und Robert Noyce, einem Physiker, 1968 gegründet. Derzeit sind über 110.000 Menschen bei Intel angestellt.



Eine Gedenktafel, die den Ort einer Zeitkapsel zum 35. Jahrestag der Gründung von Intel am 2200 Mission College Boulevard in Santa Clara, Kalifornien, markiert – Foto: Wikipedia

Schwierige Namensfindung

Bei der Namensfindung verwarfen Moore und Noyce schnell „Moore Noyce“, ein Beinahe-Homophon für „mehr Lärm“. Dies war ein ungeeigneter Name für ein Elektronikunternehmen, da Lärm in der Elektronik i. d. R. unerwünscht ist und typischerweise mit schlechten Interferenzen assoziiert wird. Stattdessen gründeten sie das Unternehmen als NM Electronics (oder MN Electronics), änderten den Namen aber schon Ende des Monats in Intel. Da „Intel“ bereits von der Hotelkette Intelco geschützt war, mussten sie die Namensrechte kaufen. Der neue Name setzt sich aus den Wörtern „integrated“ (integriert) und „electronics“ (Elektronik) zusammen, wobei der Mitbegründer Noyce ein wichtiger Erfinder des integrierten Schaltkreises war.

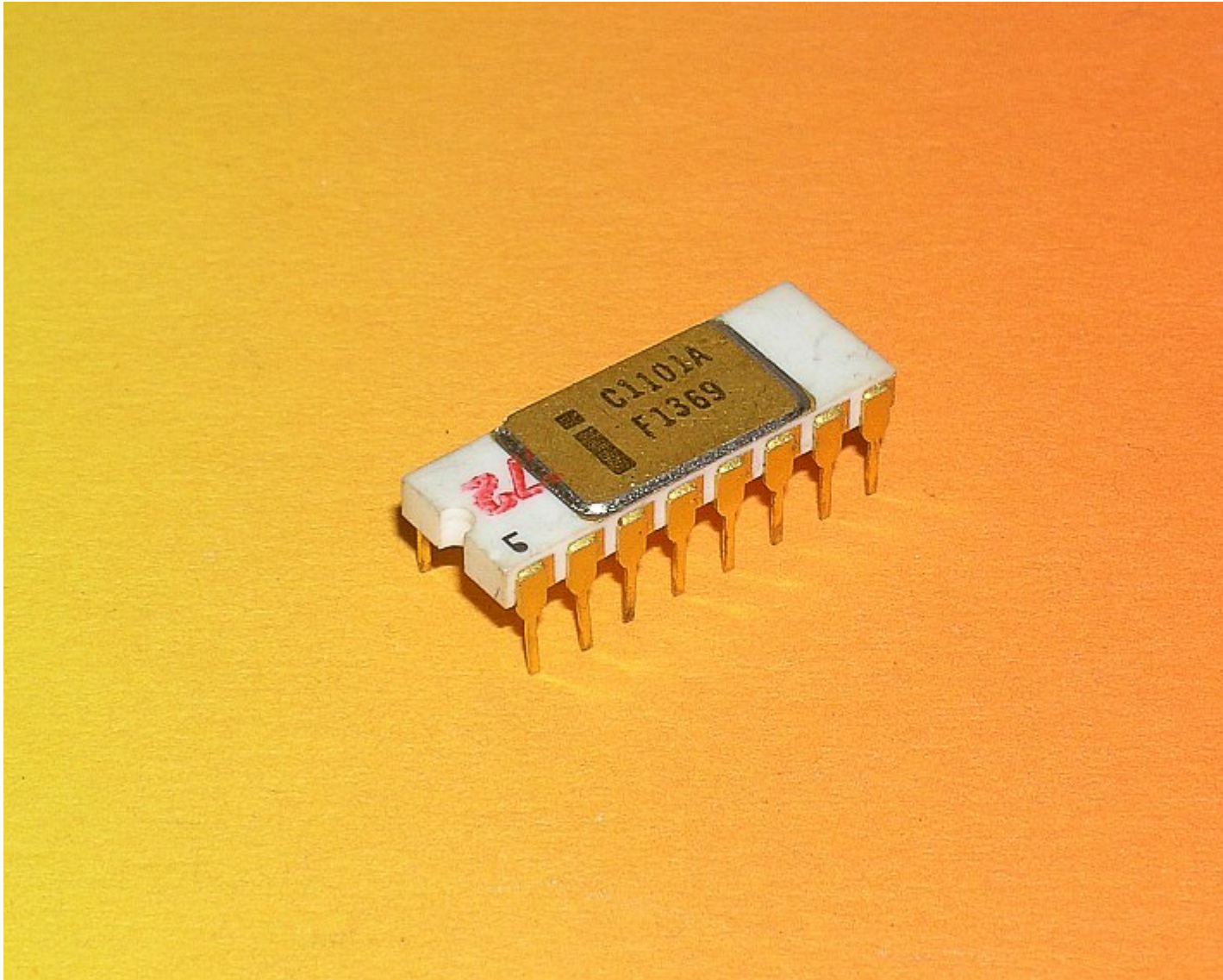


Intel-Mitbegründer Gordon Moore in seinem Büro im Robert Noyce Building in Santa Clara, Kalifornien. Pensionierung – Foto: Wikipedia

Ein schneller Speicher

Bei seiner Gründung zeichnete sich Intel durch seine Fähigkeit aus, logische Schaltungen mit Halbleiterbauelementen herzustellen. Das Ziel der Gründer war der Halbleiterspeichermarkt, dem

allgemein vorausgesagt wurde, dass er den Magnetkernspeicher ersetzen würde. Das erste Produkt, mit dem das Unternehmen 1969 rasch in den Markt für kleine Hochgeschwindigkeitsspeicher einstieg, war der bipolare 64-Bit-Schottky-TTL-Speicher (SRAM), der fast doppelt so schnell war wie frühere Schottky-Dioden-Implementierungen. Im selben Jahr produzierte Intel auch den 3301 Schottky bipolaren 1024-Bit Festwertspeicher (ROM) und den ersten kommerziellen Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor (MOSFET) Silizium-Gate SRAM-Chip, den 256-Bit 1101.



Intel 1101 – Foto: Wikipedia

Der 1101 war zwar ein bedeutender Fortschritt, doch aufgrund seiner komplexen statischen Zellstruktur war er für Großrechner zu langsam und zu kostspielig. Die Drei-Transistor-Zelle des ersten kommerziell erhältlichen dynamischen Direktzugriffsspeichers (DRAM), des 1970 auf den Markt gebrachten 1103er, löste diese Probleme. Der 1103 war 1972 der meistverkaufte Halbleiterspeicherchip der Welt, da er den Kernspeicher in vielen Anwendungen ersetzte.

Der erste Mikroprozessor

1971 entwickelte Intel den ersten kommerziell erhältlichen Mikroprozessor (Intel 4004), der einen

bemerkenswerten Fortschritt in der Technologie der integrierten Schaltkreise darstellte, da er die zentrale Recheneinheit eines Computers miniaturisierte.

Anfang der 1980er Jahre wurde das Geschäft von DRAM-Chips (Dynamic Random-Access Memory) dominiert. Die zunehmende Konkurrenz durch japanische Halbleiterhersteller hatte bis 1983 die Rentabilität dieses Markts drastisch reduziert. Der wachsende Erfolg des IBM-PCs, der auf einem Intel-Mikroprozessor basierte, war einer der Faktoren, die Gordon Moore davon überzeugten, den Schwerpunkt des Konzerns auf Mikroprozessoren zu verlagern und grundlegende Aspekte des Geschäftsmodells zu ändern. Moores Entscheidung, den 386er Chip von Intel im Alleingang herzustellen, trug zum anhaltenden Erfolg des Unternehmens bei.

Intel dominiert den Markt

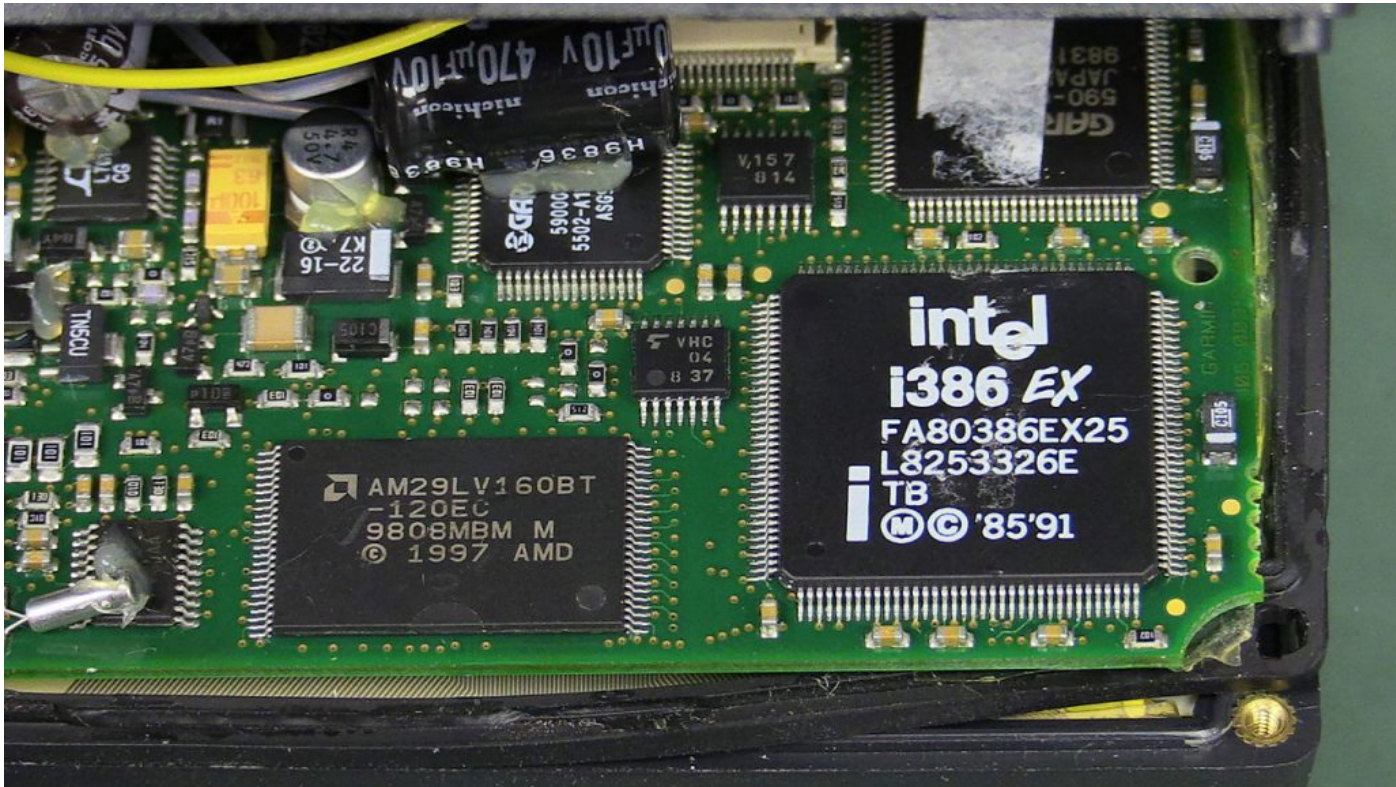
Ende der 1980er Jahre begann Intel eine zehnjährige Periode beispiellosen Wachstums als wichtigster (und profitabelster) Hardwarelieferant für die PC-Industrie und Teil der erfolgreichen „Wintel“-Kombination. Moore übergab 1987 an Andy Grove. Mit der 1991 gestarteten Marketingkampagne Intel Inside gelang es der Firma, Markentreue mit der Auswahl der Verbraucher zu verbinden, so dass die Pentium-Prozessoren Ende der 1990er Jahre zu einem allgemein bekannten Begriff wurden.

In den 1990er Jahren investierte Intel stark in die Entwicklung neuer Mikroprozessoren. Damals war das Unternehmen bekannt für aggressive und wettbewerbsfeindliche Taktiken zur Verteidigung seiner Marktposition, insbesondere gegen Advanced Micro Devices (AMD), sowie für einen Kampf mit Microsoft um die Kontrolle über die Richtung der PC-Industrie.

In den 1980er Jahren gehörte Intel zu den zehn größten Halbleiterherstellern der Welt (1987 Platz 10). 1992 wurde das Unternehmen zum umsatzstärksten Chiphersteller und hielt diesen Rang bis 2018, als es von Samsung überholt wurde. Aber Intel kehrte 2019 zu seiner früheren Position zurück.

Intel und das Recht

Nach 2000 verlangsamte sich das Wachstum der Nachfrage nach High-End-Mikroprozessoren. Konkurrenten, insbesondere AMD, gewannen beträchtliche Marktanteile, zunächst bei Low-End- und Mid-Range-Prozessoren, letztlich aber in der gesamten Produktpalette. Intels beherrschende Stellung auf seinem Kernmarkt wurde stark reduziert, vor allem aufgrund der umstrittenen NetBurst-Mikroarchitektur.



Ein eingebetteter Intel i386 EX-Prozessor in einem Garmin GPS III+ – Foto: Wikipedia

Intel war auch einige Jahre lang in Rechtsstreitigkeiten verwickelt. Das US-Recht erkannte zunächst keine Ansprüche an geistigem Eigentum im Zusammenhang mit der Mikroprozessortopologie (Schaltungslayouts) an, bis der Semiconductor Chip Protection Act von 1984 verabschiedet wurde. Ein Gesetz, das von Intel und der Semiconductor Industry Association (SIA) angestrebt wurde. In den späten 1980er und 1990er Jahren verklagte Intel Unternehmen, die versuchten, Konkurrenzchips zur 386er CPU zu entwickeln. Dies belastete die Konkurrenz mit hohen Gerichtskosten, selbst wenn Intel die Klagen verlor. Kartellrechtsvorwürfe schwellten seit Anfang der 1990er und waren 1991 der Grund für eine Klage gegen Intel. In den Jahren 2004 und 2005 erhob AMD weitere Klagen gegen Intel wegen unlauteren Wettbewerbs.

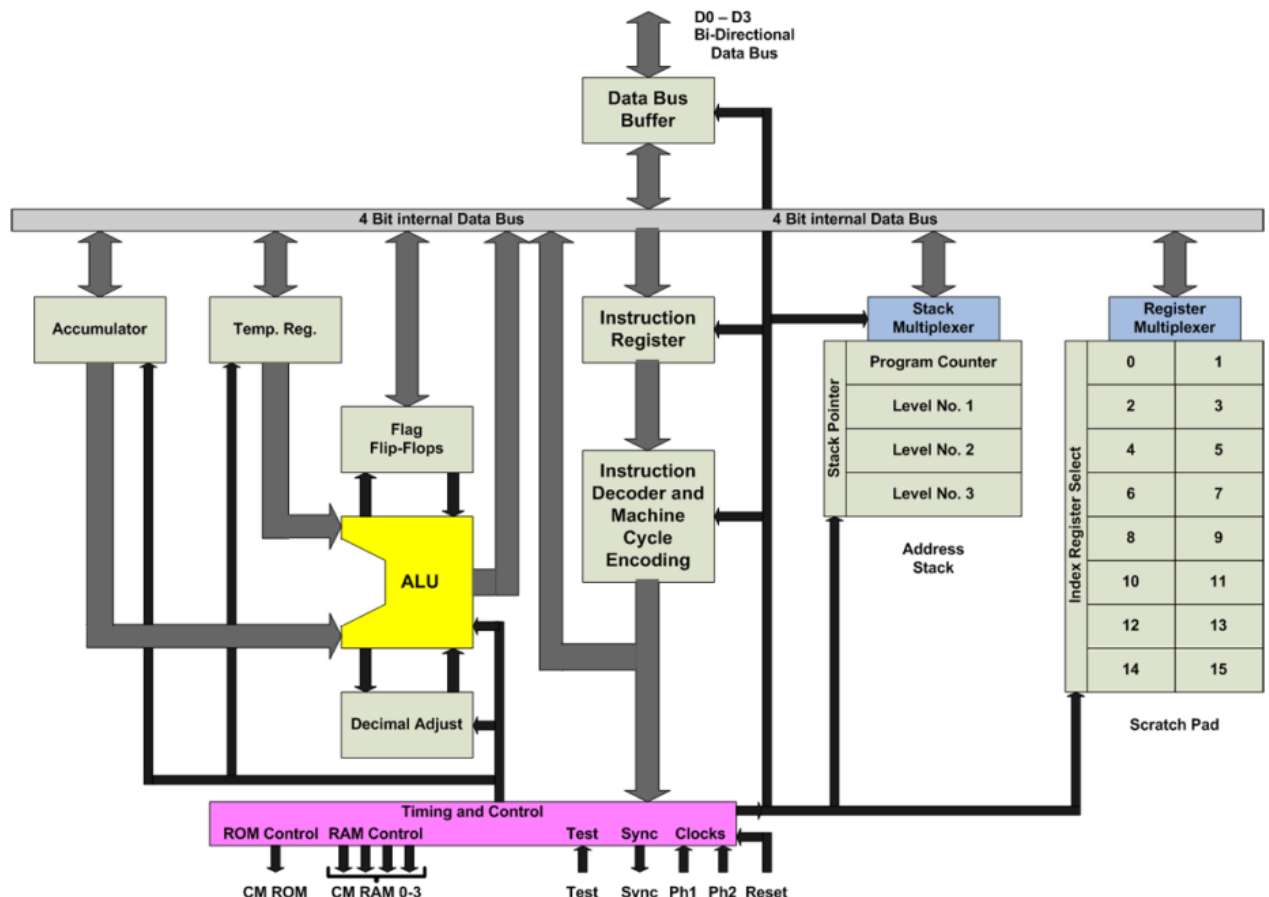
Intel 4004

Aber zurück zu den Ursprüngen der Mikrocomputer. 1971 wurde der Intel 4004 veröffentlicht. Der Entwurf des Chips, der mit der MOS-Silizium-Gate-Technologie realisiert wurde, begann im April 1970 und wurde von Federico Faggin entwickelt, der das Projekt von Anfang an bis zur Fertigstellung im Jahr 1971 führte. Marcian Hoff formulierte und leitete den Architekturvorschlag 1969, und Masatoshi Shima trug zur Architektur und später zum Logikentwurf bei. Die erste Lieferung eines voll funktionsfähigen 4004 erfolgte im März 1971 an die japanische Business Computer Corporation für ihren technischen Prototyp eines druckenden Taschenrechners 141-PF. Dieser war im Juli 1971 erstmals im Handel erhältlich.

Drei auf einen Streich

Etwa zur gleichen Zeit wurden drei weitere CPU-Chips entwickelt. Der Four-Phase Systems AL1, der

1969 fertiggestellt wurde, der MP944, der 1970 im F-14 Tomcat-Kampffjet eingesetzt wurde, und der bereits erwähnte TMS-0100-Chip von Texas Instruments. Der MP944 war eine Sammlung von sechs Chips, die eine einzige Prozessoreinheit bildeten. Die von Intel entwickelte MCS-4-Familie von vier Chips, deren Mikroprozessor der 4004 ist, war weitaus vielseitiger und leistungsfähiger als der Ein-Chip-TMS1000 und ermöglichte die Entwicklung einer Vielzahl von kleinen Computern für verschiedene Anwendungen.



Intel 4004 Architektur-Blockdiagramm – Bild: Wikipedia

Die erste öffentliche Erwähnung des 4004 war eine Anzeige in der Ausgabe der Electronic News vom 15. November 1971. In einem 16-poligen keramischen Dual-Inline-Gehäuse untergebracht, war der 4004 der erste kommerziell erhältliche Computerprozessor, der vom Chiphersteller Intel entwickelt und hergestellt wurde.

Die Vorgeschichte

Federico Faggin, der alleinige Chipdesigner unter den Ingenieuren des MCS-4-Projekts, war der einzige, der Erfahrung mit Metalloxid-Halbleitern (MOS) mit zufälliger Logik und Schaltungsdesign

hatte. Der italienische Mikrochip-Spezialist verfügte auch über das entscheidende Wissen über die neue Silizium-Gate-Prozesstechnologie mit selbstausrichtenden Gates, die er 1968 bei Fairchild entwickelt hatte.

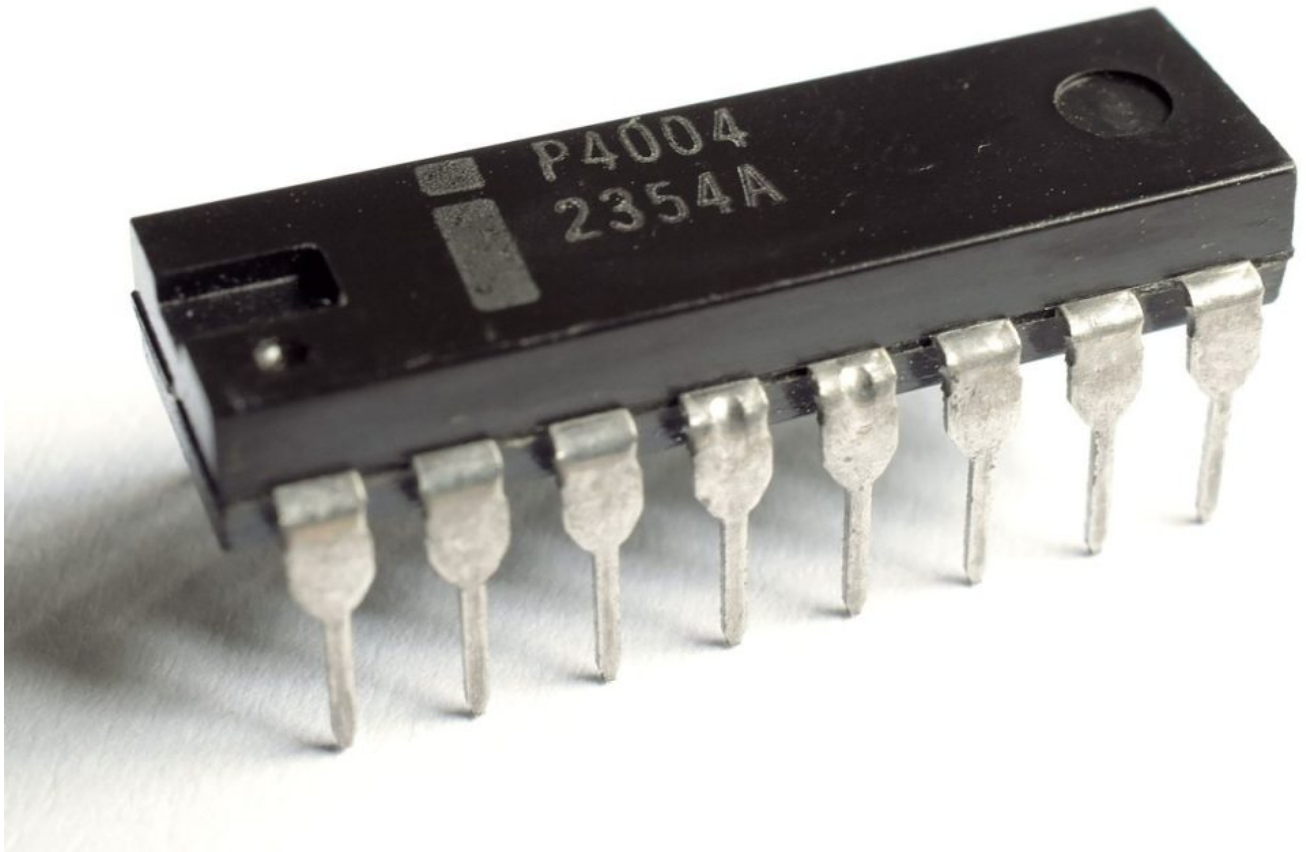
Intels Wurzeln

Fairchild Semiconductor ist ebenfalls ein Halbleiterhersteller und wurde 1957 von acht Ingenieuren gegründet. Darunter die späteren Intel-Gründer Gordon Moore und Robert Noyce.

Bei Fairchild entwarf und fertigte Faggin 1968 den weltweit ersten kommerziellen IC mit SGT, den Fairchild 3708, der auf dem Titelblatt der Zeitschrift Electronics (29. September 1969) abgebildet war. Sobald er zur MOS-Abteilung von Intel kam, entwickelte er eine neue, auf Silizium-Gate basierende Handhabung für den Entwurf von Zufallslogik. Er trug zu vielen Erfindungen im Bereich Technologie und Schaltungsentwurf bei, die es ermöglichten, dass der Ein-Chip-Mikroprozessor Wirklichkeit wurde. Seine Methodik legte den Designstil für alle frühen Intel-Mikroprozessoren fest.

Aufgabenverteilung

Marcian „Ted“ Hoff, Leiter der Abteilung Anwendungsforschung, steuerte 1969 in Zusammenarbeit mit Stanley Mazor den Architekturvorschlag für Busicom bei, bevor er sich anderen Projekten zuwandte. Auf die Frage, woher er die Ideen für die Architektur des ersten Mikroprozessors hatte, erzählte Hoff, dass Plessey, eine britische Traktorenfirma, Stanford einen Minicomputer gespendet hatte, mit dem „ein wenig gespielt“ hatte.



Intel P4004 Prozessor – Foto: Wikipedia

Der Leiter der MOS-Design-Abteilung von Intel war Leslie L. Vadász. Zum Zeitpunkt der MCS-4-Entwicklung war Vadász' Aufmerksamkeit voll und ganz auf das Hauptgeschäft mit Halbleiterspeichern gerichtet, und er überließ die Leitung und das Management des MCS-4-Projekts Faggin.

Olivetti als Inspiration

Busicom hatte einen eigenen speziellen LSI-Chipsatz für die Verwendung in ihrem 141-PF-Rechner mit integriertem Drucker entwickelt. Sie stützten sich dabei auf die Architektur des Olivetti Programma 101, einem der ersten programmierbaren Tischrechner der Welt, den Olivetti 1965 auf den Markt gebracht hatte. Busicom beauftragte Intel mit der Entwicklung ihres Designs für die Produktion. Wie der Olivetti Programma 101 verwendete auch das Busicom-Design einen seriellen Schreib-Lese-Speicher. Der Busicom-Speicher beruhte auf MOS-Schieberegistern und nicht auf dem kostspieligen Olivetti-Speicher, der auf Magnetostruktionsdraht basierte.



Olivetti Programma 101 – Foto: Wikipedia

Intel stellte fest, dass der Busicom-Entwurf zu komplex war, da serielle Speicher mehr Komponenten erforderten und 40 Pins verwenden würden. Ein Verpackungsstandard, der sich von Intels eigenem 16-Pin-Standard unterschied. Intel schlug vor, ein neues Design zu entwickeln, das in einem 16-poligen DIP-Gehäuse hergestellt werden konnte und einen reduzierten Befehlssatz aufwies. Die Vereinfachung des Speichers sollte durch die Verwendung des neu entwickelten dynamischen RAM-Speichers erreicht werden. Bei diesem neuen Design handelte es sich um den 4004-Chip, der zusammen mit ROM-, DRAM- und Seriell-Parallel-Schieberegister-Chips zu einem Satz von vier Chips gehörte.

Transistoren und Geschwindigkeit

Der 4004 bestand aus etwa 2.300 Transistoren. Ein Jahr später folgte der erste 8-Bit-Mikroprozessor überhaupt, der 8008 mit 3.500 Transistoren (und der 4040, ein überarbeiteter und verbesserter 4004).

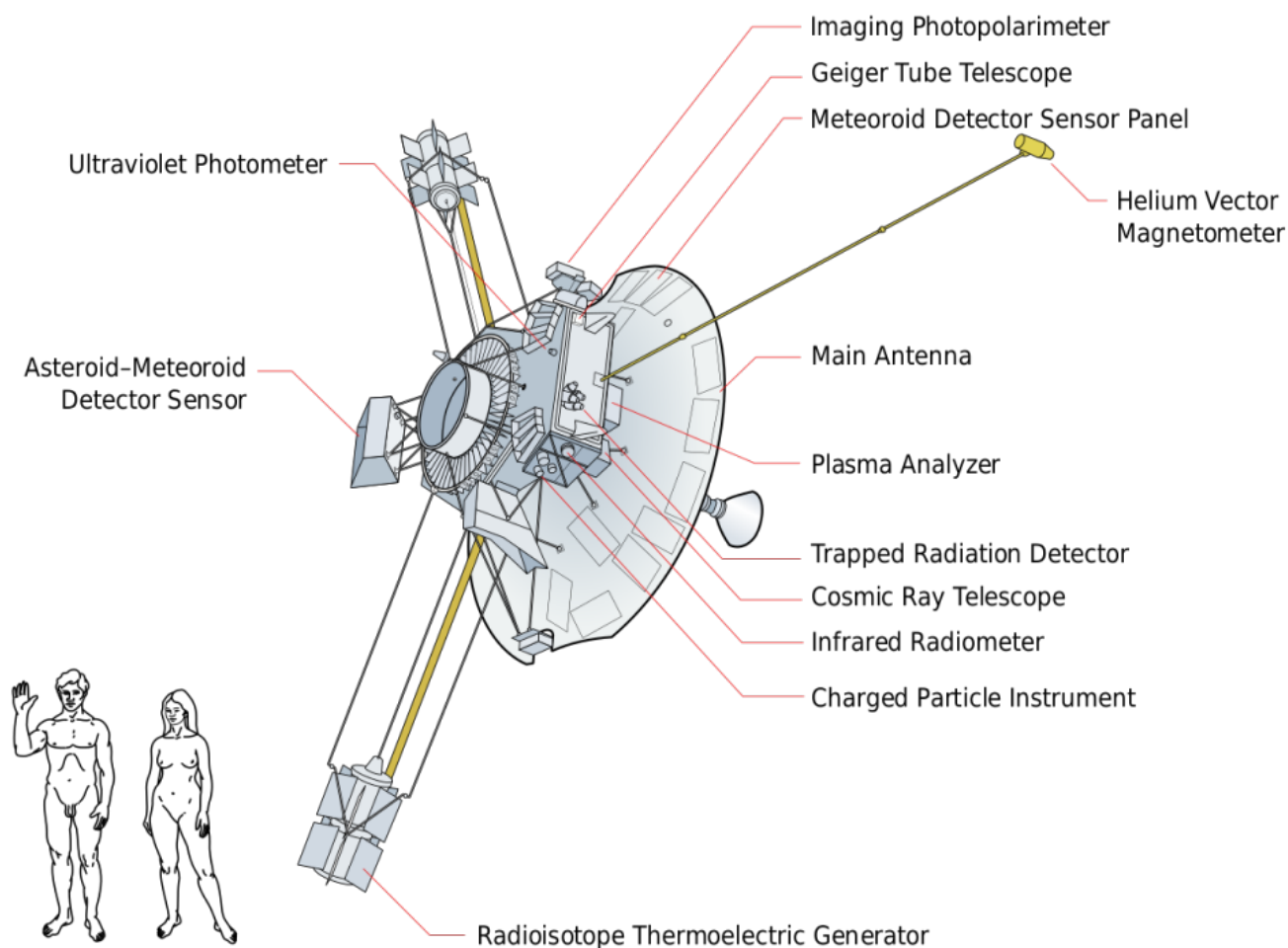
Der 4004 verwendet eine Silizium-Gate-Enhancement-Load-pMOS-Technologie im 10-µm-Prozess auf einem 12 mm² großen Chip und kann etwa 92 000 Befehle pro Sekunde ausführen. Ein einzelner Befehlszyklus dauert 10,8 Mikrosekunden. Das ursprüngliche Ziel für die Taktrate war 1 MHz.

Für die Entwicklung wurden Rubylith-Platten in dünne Streifen geschnitten, um die zu druckenden Schaltkreise zu entwerfen. Ein Verfahren, das durch die heutigen Möglichkeiten des Computergrafikdesigns überholt ist.

Die Standardanordnung für ein 4004-System besteht aus bis zu 16×4001 ROM-Chips (in einer einzigen Bank) und 16×4002 RAM-Chips (in vier Bänken zu je vier Stück). Diese stellen zusammen den 4KB-Programmspeicher, 1024 + 256 Nibbles Daten-/Statusspeicher sowie 64 Ausgangs- und 64 Eingangs-/Ausgangsleitungen für externe Daten/Steuerleitungen bereit.

Die Prozessoren der MCS-4-Reihe wurden in zahlreichen Versionen hergestellt. Die ersten Fassungen mit der Bezeichnung C (wie C4004) waren aus Keramik und hatten ein Zebramuster aus Weiß und Grau auf der Rückseite der Chips, das oft als „graue Spuren“ bezeichnet wird. Die nächste Generation der Chips war aus weißer Keramik (ebenfalls mit C gekennzeichnet) und dann aus dunkelgrauer Keramik (D). Viele der neueren Versionen der MCS-4-Familie wurden auch mit Kunststoff (P) hergestellt.

Der 4004 wurde im ersten mikroprozessorgesteuerten Flipper-Spiel angewandt.



Schematische Darstellung der Systeme von Pioneer 10 – Bild: Wikipedia

Intel im Weltraum?

Ein populärer Mythos besagt, dass Pioneer 10, das erste Raumschiff, das das Sonnensystem verließ, einen Intel 4004 Mikroprozessor verwendete. Laut Dr. Larry Lasher vom Ames Research Center evaluierte das Pioneer-Team den 4004, entschied aber, dass er zu dieser Zeit zu neu war, um ihn in eines der Pioneer-Projekte einzubauen.

Feiern und Ehrungen

Federico Faggin signierte den 4004 mit seinen Initialen, weil er wusste, dass sein Silizium-Gate-Design „die Essenz des Mikroprozessors“ verkörperte. In einer Ecke des Würfels steht „F.F.“.

Am 15. November 2006, dem 35. Jahrestag des 4004, feierte Intel mit der Veröffentlichung der Schaltpläne, Masken und des Benutzerhandbuchs des Chips. Eine voll funktionsfähige Nachbildung des Intel 4004 im Maßstab 41 × 58 cm wurde aus diskreten Transistoren gebaut und 2006 im Intel-Museum in Santa Clara, Kalifornien, ausgestellt.

Am 15. Oktober 2010 wurden Faggin, Hoff und Mazor von Präsident Barack Obama für ihre Pionierarbeit am 4004 mit der National Medal of Technology and Innovation ausgezeichnet.

Pionierleistung

Texas Instruments und Intel leisteten mit ihren Chips etwas Großes. Aus heutiger Sicht mag die Leistung nicht sonderlich beeindrucken, damals war es förmlich eine Revolution. So leiteten sich u. a. Intels 8008 und 8080 davon ab, die wir im nächsten Teil betrachten werden.

Links

- [1: Von Adam bis Zuse](#)
- [2: Die drei großen Buchstaben](#)
- [3: Kalifornien und Texas erobern die Welt](#)
- [4: Gleiche Geschwindigkeit bei doppelter Bit-Zahl](#)
- [5: Die Billig-CPU](#)
- [6: Computer für die Massen](#)
- [7: Der Zukunftsprozessor](#)
- [8: Die Legende des Außerirdischen](#)
- [9: Eine Freundin für den Geek](#)
- [10: Siegeszug der 8086er](#)
- [11: Der elektronische Apfel](#)
- [12: Der reduzierte Befehlssatz](#)
- [13: Made in Germany](#)

Date Created

17. Dezember 2021

Author

sven