

Semicondutores

De Faraday a Bardeen, Shockley, Brattain e outros

Moisés Piedade

Dezembro de 2017, revisto em julho de 2026



(esta listagem temporal pode não estar completa e estará sempre aberta para novas contribuições)

Agradecimento:

Aos colegas da equipa do Museu Faraday pelas sugestões dadas no decurso desta compilação de acontecimentos históricos sobre a tecnologia dos semicondutores.

1833, [Michael Faraday](#) (1791 - 1867), descobriu, pela primeira vez, que a condutividade elétrica do "sulfeto de prata" aumentava com o aumento da temperatura. Faraday teve assim o primeiro contacto com um semiconductor cuja resistência decresce com aumento de temperatura, contrariamente ao que acontece com os metais.

1839 - [Alexandre Becquerel](#) (1820 - 1891) descobre o efeito fotovoltaico numa junção de um semiconductor e um eletrólito.

1851 - [Johann Hittorf](#) (1824 -1914) analisa quantitativamente a dependência da resistência do sulfureto de prata Ag_2S e do sulfureto de cobre Cu_2S , com a temperatura.

1873 - [Willoughby Smith](#) (1828 - 1891) descobre o efeito fotocondutor em sólidos quando pretendia fazer resistências de elevado valor para cabos submarinos. Experimentou com selénio (fraco condutor) e verificou que resistência descia extraordinariamente na presença de luz.

1874, o físico alemão [Karl Ferdinand Braun](#) (1850 – 1918) fez testes com outro semiconductor – o sulfeto de chumbo (galena) e uma ponta de metal. Braun verificou que a corrente elétrica passava pelo material na interface com a ponta metálica só num sentido. Braun tinha acabado de inventar o díodo retificador.

1874 - [Arthur Schuster](#) (1851 – 1934) observa a retificação em contactos com fios de cobre-cobre oxidado. Schuster tinha acabado de descobrir o semiconductor óxido de cobre.

1876 - [William Grylls Adams](#) (1836 – 1915) e seu estudante Richard Evans Day criaram o primeiro dispositivo sólido de efeito fotovoltaico usando selénio. Descobriram o efeito fotovoltaico verificaram que num troço de selénio ligado a uma bateria a corrente podia mudar de sentido pela ação da luz.

1878 - [Edwin Hall](#) (1855 - 1938) descobre que os portadores de carga dentro de um condutor são deslocados por um campo magnético externo (efeito Hall).

1880 - [Thomas Edison](#) (1847-1931) verificou que um condutor elétrico quente emite cargas elétricas (descobrendo o [efeito Edison](#) de emissão termiônica)

1883 - [Charles Fritts](#) (1850 - 1903) constrói a primeira célula solar, uma camada fina de selénio sobre um condutor e uma camada de ouro muito fina por cima da de selénio. Verificou também as propriedades retificadoras do selénio.

1887 - [Heinrich Hertz](#) (1857 - 1894) descobre o efeito fotoelétrico.

1894 - [Jagadish Chandra Bose](#) (1858 - 1937), um cientista indiano que foi o primeiro a usar os cristais de galena para detetar ondas eletromagnéticas (ondas de rádio). Em 1901, o detetor de galena foi patenteado como detetor de ondas de rádio.

1895 - [Edward Goodrich Acheson](#) descobriu o carboneto de silício em 1891 (produção em larga escala em 1895). Este semiconductor viria a ser muito importante por volta do ano 2000.

1897 - [J. J. Thomson](#) (1856 – 1940) descobre a partícula eletrão transportadora da carga elétrica mínima, quando fazia experiências com o tubo de raios catódicos.

1899 - [Eduard Riecke](#) (1845 – 1915) desenvolve uma teoria de condução em condutores baseados em cargas positiva e negativas com diferentes concentrações e mobilidade.

1900, [Max Planck](#) (1858 – 1947) postulou que a energia não é emitida de forma contínua, mas sim em pacotes discretos chamados quanta. Usando este conceito, Planck estabeleceu a lei da radiação do corpo

negro. Planck considerava isto como um mero truque matemático, mas não era, e em 1918 foi galardoado com o prémio Nobel.

1901 - [Owen Richardson](#) (1879 - 1959) demonstrou que a corrente de um fio aquecido depende exponencialmente da temperatura do fio explicando o efeito Edison que lhe deu o prémio Nobel da Física em 1928.

1902 a 1906 - [Greenleaf Whittier Pickard](#) (1877 - 1956) testou milhares de minerais (supostos serem semicondutores) e patenteou o famoso cristal de silício contactado pelo "bigode de gato".

1905 - [Albert Einstein](#) (1879 - 1955) usando o conceito dos quantas prova o efeito fotoelétrico que tinha sido descoberto por [Heinrich Hertz](#) (1857 - 1894) em 1887. Einstein foi galardoado com o premio Nobel de 1921.

1906- [Henry Dunwoody](#) (1842 - 1933) realiza o primeiro detetor de rádio de contacto metálico-semicondutor, usando o carboneto de silício. Em 2008 este semicondutor viria a ser muito importante para realizar transístores de alta tensão.

1907 - [H J Round](#) (1881 - 1966) apresenta a primeira emissão de luz por um [semicondutor \(1º LED\)](#).

1909 - [Robert Millikan](#) (1868 - 1953) e o seu aluno [Harvey Fletcher](#) (1884 - 1981) determinam o valor da carga elementar do eletrão $1,6 \times 10^{-19}$ C.

1909 - [Karl Baedeker](#) (1877 - 1914) estuda a dependência da condutividade de iodeto de cobre e descobre que o efeito de Hall neste material é explicado pela existência de cargas positivas.

1914 - [Johan Koenigsberger](#) (1874 - 1946) classifica os materiais condutores em: metais, isoladores e condutores variáveis. A razão entre a magnetização remanescente e a induzida, que ele descreveu pela primeira vez, ficou conhecida como razão de Koenigsberger.

1920, [Lars Olai Grondahl](#) () descobriu o efeito de retificação entre uma junção de cobre com o óxido cuproso Cu_2O na empresa norte-americana *Union Switch & Signal* (uma subsidiária da [Westinghouse Electric](#)). O dispositivo foi patenteado e comercializado a partir de 1924.

1924 - [Luís De Broglie](#) (1882 - 1997) (Luís Raymond, duque de Broglie), sugeriu e postulou em 1924, na sua tese de doutoramento, que toda a matéria tinha uma característica ondulatória.

1925 - E. Presser desenvolve o retificador de selénio.

1925 - [Robert Millikan](#) (1868 - 1953) e [Carl Eyring](#) (1889 - 1951) verificaram, que mesmo à temperatura ambiente, uma ponta metálica fria no vácuo emitia eletrões (frios) se fosse submetida a um campo elétrico forte.

1926_ [Julius E. Lilienfeld](#) (1882 - 1963) registou uma patente intitulada "Método e Aparelho para Controlar Correntes Elétricas", onde propôs uma estrutura de três elétrodos utilizando o sulfeto de cobre, CuS , um mineral azul escuro, chamado "covelita" Esta é a primeira ideia de um transístor FET.

1926 - [Sigmund Loewe](#) (1885 - 1962) constrói [o primeiro circuito integrado](#) (uma válvula integrando outras e os componentes para fazer um rádio). Pode observar um exemplar no Museu Faraday do IST.

1926 - [Gilbert N. Lewis](#) (1875 - 1946) designa os pacotes de luz por fotões.

1928 - [Felix Bloch](#), (1905 - 1983) aluno de [Werner Heisenberg](#) (1901 – 1976) desenvolve a teoria da condução em redes cristalinas “lattices”. Demonstrou que os elétrons num potencial periódico de um cristal movem-se como ondas planas moduladas por uma função periódica (as chamadas ondas de Bloch).

1927 - [Robert Oppenheimer](#) (1904 - 1967), descobriu a relação $I(V)$ da emissão fria, ao analisar os dados resultantes dos trabalhos experimentais de Millikan e [Carl Eyring](#).

1927 - [Clinton Davisson](#) (1881 - 1957) e [Lester Germer](#) (1896 - 1971) através da [experiência Davisson-Germer](#), ensaiada entre 1923 e 1927, provaram que os elétrons se difratavam como as ondas eletromagnéticas confirmando a tese de Broglie. Foram prémio Nobel

1927 - [Clinton Davisson](#) (1881 - 1957) e [George Thomson](#) (1892 - 1975), filho do célebre cientista [J.J. Thomson](#) (1856 – 1940), fizeram experiências sobre difração de elétrons em cristais, que lhes valeu o prémio Nobel em 1937.

1928 - [Robert Millikan](#) (1868 - 1953) e [Charles Lauritsen](#) (1862 – 1968) estudaram o relacionamento entre a emissão termiônica e a emissão de elétrons frios e concluíram que não existe interação, sendo dois fenómenos independentes.

1928 - [Ralph. H. Fowler](#) (1889 - 1944) e [Lothar Nordheim](#) (1899 - 1985) desenvolvem a teoria quântica que permite estabelecer e explicar a condução elétrica através de isoladores finos- o efeito túnel microscópico. Este mecanismo viria a ser fundamental na criação das memórias EPROM, EEPROM e SSD Flash.

1929 - [Walter Schotky](#) (1886 – 1976) confirma experimentalmente a existência de uma barreira de potencial na junção entre um metal e um semicondutor.

1930 - Bernhard Gudden, cientista alemão, verifica que a condutividade dos semicondutores está mais relacionada com as impurezas do que com o material em si.

1930 - [Rudolf Peierls](#) (1907 - 1995) apresenta o conceito de bandas de energia proibidas.

1931, [Alan Harries Wilson](#) (1906 - 1995), cientista britânico, formulou a teoria de bandas para semicondutores, que foi fundamental para compreender a junção P-N, descoberta por acaso, no início dos anos 40.

1931 - [Werner Heisenberg](#) (1901 – 1976) desenvolve o conceito de lacuna que estava previsto no modelo de R. Peierls.

1934 - [Oskar Heil](#) (1908 – 1994) regista patente da técnica de controlo capacitivo dos transístores de efeito de campo.

1938 - [Walter Schotky](#) (1886 – 1976) e [Neville Mott](#) (1905 – 1996) desenvolvem, de forma independente, modelos da barreira de potencial e da condução de corrente numa junção metal semicondutor.

1938 - Boris Davidov apresenta a teoria do retificador de cobre-óxido de cobre incluindo a presença de uma junção pn no óxido, a existência de portadores em excesso e a recombinação.

1939 – [Walter Schotky](#) (1886 – 1976) introduz o conceito de carga espacial no seu modelo e propõe o transístor de junção.

1939 - [Bill Hewlett](#) (1913 – 2001) e [David Packard](#) (1912 - 1996) fundam a empresa HP (Hewlet-Packard). O primeiro instrumento fabricado e vendido pela empresa foi um oscilador de áudio de que venderam

oito unidades para os Estúdios Walt Disney para testar equipamentos de som usados na produção do filme [Fantasia](#).

1940: [Russell Ohl](#) (1898 – 1987), Bell Labs, descobre a junção PN e a célula fotovoltaica de junção PN.

1941- Diodos semicondutores de germânio e de silício têm um papel muito importante na detecção de sinais de Radar.

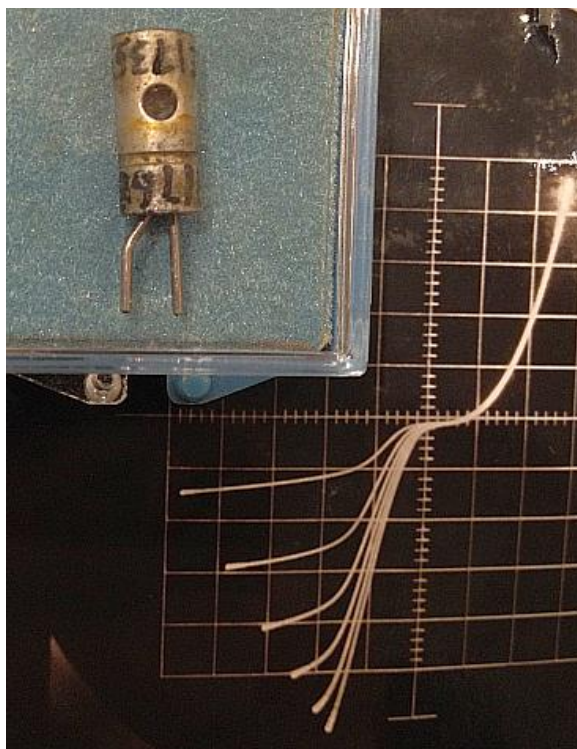
1942 - [Hans Bethe](#) (196 – 2005) desenvolve a teoria da emissão termiônica.

1945- [Heinrich Welker](#) (1912 – 1981), alemão, patenteia a ideia do transistor de junção de efeito de campo.

1947 - [Walter Brattain](#) (1902 – 1987) e [John Bardeen](#) (1908 – 1991) – realizam primeiro transistor de contato de pontas metálicas com germânio tipo N, em dezembro de 1947. Os Bell Labs impuseram que em todas as publicações e fotografias aparecesse o seu chefe da equipa de semicondutores, [William Shockley](#) (1910 – 1989).

1948- [Herbert Mataré](#) (1912 – 2011) e [Heinrich Welker](#) (1912 – 1981), Compagnie des Freins et Signaux, desenvolvem em França o seu primeiro transistor de contacto metálico, mas a empresa não quis entrar em conflito com o poderio económico dos Bell Labs.

1948 - Laboratórios Bell produzem cerca de 2000 unidades do transistor de contactos de ponta metálica para testes em institutos e empresas. Os contactos destes transístores tinham de ser ajustados a mão através de um orifício existente no encapsulamento e eram posteriormente cobertos com uma cera. A dispersão de características era enorme e os transístores eram pouco fiáveis e duravam muito pouco tempo.



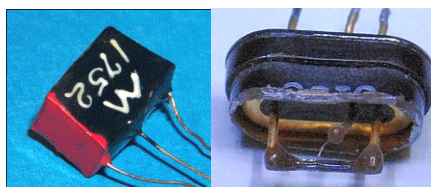
Características do transistor R1768 de contacto com pontas metálicas em germânio do tipo N (Bell Labs).

Apesar de terem uma durabilidade limitada vários fabricantes produziram transístores de contacto metálico. Segue uma lista que pode não estar completa.

Lista de transístores comerciais de contactos pontiagudos com germânio tipo N.

Amperex	OC50, OC51
CBS-Hytron	PT-2A, PT-2S
General Electric	G11, G11A, SX4A, Z2, 2N30, 2N31
Hydro-Aire	A-0, A-1, A-2, A-3, S-0, S-1, S-2
Nat'l Union Electr	T18A, T18B
Radio Receptor	R1698, R1729, R1734
Raytheon	CK716
RCA	2N32, 2N33, TA165K, TA166, TA172
Sprague Electric	5A, 2N159
Sylvania	2N32, 2N33, 3N21(tetrode!)
Texas Instruments	100, 101, 102, 103
Transistor Products	2A, 2B, 2C, 2D, 2E, 2F, 2G, 2H, 2L 2N32, 2N33, 2N50, 2N51, 2N52, 2N53
Western Electric	2A, 3A(photodiode), A1698, A1723, A1729, A1768, AN2891 2N21, 2N21A, 2N22, 2N23, 2N24, 2N25, 2N26 2N67, 2N110
Bell Labs	BL115, M1689, M1698, M1729, M1734, M1768, M1832 1698, 1729, 1734, 1768
Westinghouse	WX3347, WX4811, WX4812
Unknown	2N72
GEC (England)	EW51, EW61, GET1, GET2
LCT (France)	3698, 3768
Mullard (England)	OC50, OC51
SAF (Germany)	VS220
STC (England)	LS737, TP1, TP2, 3X/100N, 3X/101N

1948 – [William Shockley](#) (1910 – 1989) desenvolve o transístor de junções crescidas num lingote de germânio e é o primeiro transístor de junção bipolar, em junho de 1948. A primeira unidade produzida pelos Bell Labs foi o transístor M1752 encapsulado em plástico. Mais tarde usou-se encapsulamento metálico que permite observar o lingote de germânio com o fio de base ligado entre a parte P e a parte N do lingote.



Transístor de junções crescidas num lingote de germânio.

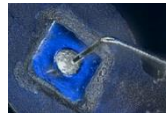
Estes transístores eram mais fiáveis que os de contacto metálico mas só funcionavam bem em frequências muito baixas.

1950 - [Jun-ichi Nishizawa](#) (1926 – 2018) e [Y. Watanabe](#) patenteiam a ideia do SIT “Static Induced Transistor” , um transístor JFET com canal curto, contrariamente a este e que proporcionou amplificadores de áudio de alta qualidade.

1951- [Willian Pfann](#) (1917 – 1982) e [Henry Theurer](#) desenvolvem processos muito apurados de refinação de semicondutores.

1951- [Gordon Teal](#) (1907 - 2003) consegue produzir grandes cristais de germânio. Trabalha com [Morgan Sparks](#) (1916 - 2008) para fabricarem o primeiro transistor npn.

1951- General Electric e RCA desenvolvem o transistor de liga-junção de germânio (alloy junction). Numa lâmina de cristal de germânio são fundidos dois contactos na face oposta que forma uma liga metálica em contato com o semiconductor e realiza o emissor e o coletor do transistor (ver pormenor do contacto no transistor 2N140). O metal ao penetrar no semiconductor cria uma junção



Contacto fundido no germânio.

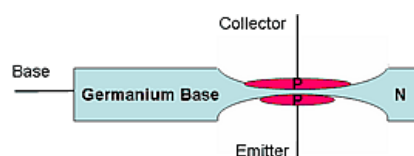
1952 – [William Shockley](#) (1910 – 1989) realiza o primeiro transistor de junção.

1952- [William Shockley](#) (1910 – 1989) apresenta a teoria do funcionamento do JFET.

1952- Aparecem os primeiros aparelhos de ajuda auditiva transistorizados ex: Sonotone 1010.

1952- Bell Labs vendem as primeiras licenças de patentes de transístores.

1953- Philco introduz os transístores de barreira superficial que permitem obter bases extremamente finas, são mais robustos que os anteriores e podem ser usados até frequências da ordem dos 60 MHz. Estes transístores foram usados no primeiro autorrádio transistorizado produzido pela Philco e pela Crysler (modelo Mopar 914HR).



Pormenor do transístor SB100 da Philco.

1953- [George C. Dacey](#) (1921 – 2010) e [Ian M. Ross](#) (1927 - 2013), realizam o primeiro transistor JFET, cujo comportamento e características são mais parecidas com as do trípodo de vácuo.

1954 - Jean H. Felker, James R. Harris, Produzem o [TRADIC \(TRANsistor Digital Computer\)](#) para a força aérea americana. Este computador usava 700 transistor de contacto e 10,000 díodos, operava a 1 MHz e consumia 100 watts.

1954 - [Gordon Teal](#) (1907 - 2003), Texas Instruments, fabrica os primeiros transístores de junção crescida de silício.

1954- [Morris Tanenbaum](#) (1928 - 2023) fabrica o primeiro transistor de silício.

1954- Depois de um longo desenvolvimento, a Texas Instruments desenvolve o [primeiro rádio de bolso transistorizado, TR1](#), que foi produzido pela empresa Regency.

1955- Jules Andrus e Walter Bond [desenvolvem processos litográficos](#) para fazer chips em silício.

1955 - Bell Labs, fabricam o primeiro transistor de difusão “*diffused silicon mesa transistor*”. Usando uma base muito fina (alguns micrómetros), obtida por difusão, estimam que os transistores possam operar a 170 MHz (10 x mais do que era o padrão da época). Estes transistores foram produzidos pela Fairchild em 1958, com a identificação 2n709.

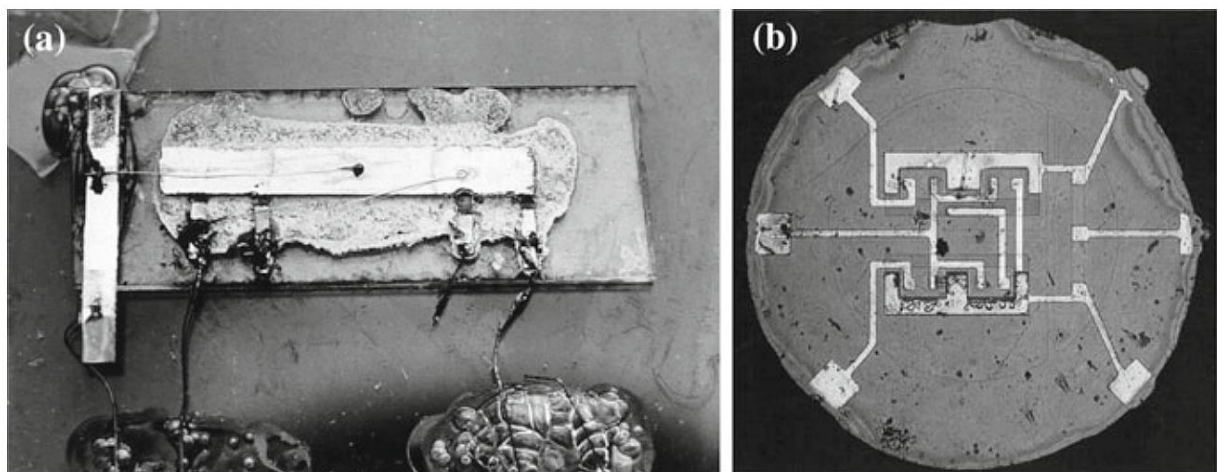
1955- [Carl Frosch](#) (1908 - 1984) e Lincoln Derick [fazem crescer uma camada de óxido de silício](#) sobre a superfície de bolachas de silício para protegerem a bolacha e permitir fazer difusão controlada de dopantes na camada de baixo.

1956 - [W. Tsing Chow](#) (1918-2001) inventa a memória PROM.

1956- Forma-se o Shockley Semiconductor Laboratory na Califórnia USA, que viria a tornar-se no Silicon Valley.

1958 - [Leo Esaki](#) (1925 - 1973), da Tokyo Tsushin Kogyo (que hoje é a Sony) obtém o primeiro díodo de túnel de germânio. A primeira aplicação do tunelamento microscópico. O díodo túnel tem uma região da sua característica que tem resistência negativa (é um dispositivo globalmente passivo) e nos anos 70 era usado para fazer osciladores e amplificadores em frequências muito elevadas (uma dezena de Ghz ou mais), concorria com os amplificadores paramétricos. Esaki foi prémio Nobel em 1973.

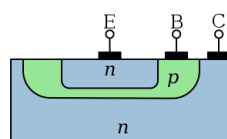
1958 - [Jack Kilby](#) (1923- 2005) demonstra o primeiro circuito integrado monolítico (componentes ativos e passivos fabricados a partir de materiais semicondutores).



1958-Primeiro circuito integrado monolítico a) e 1959- primeiro circuito integrado monolítico planar b)

1958- Fairchild produz os primeiros transistores “Double Difused Mesa” para aplicações espaciais.

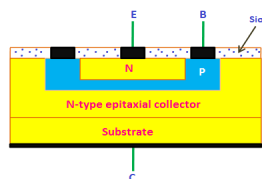
1959 - [Jean Hoerni](#) (1924 – 1997), Fairchild Semiconductors, desenvolve o transistor planar com ambas as junções criadas por difusão o que permitirá a fabricação de circuitos monolíticos em grande escala, evitando o uso do processo Mesa.



Transistor de difusão é mais robusto.

1959- [Robert Noyce](#) (1927 1990) usa o método de Jean Hoerni para patentear processo de fazer circuitos integrados monolíticos em grande escala.

1960 - [James Early](#) (1922 - 2004) modifica a região de coletor com uma camada epitaxial fina sobre a qual se faz a difusão do semiconductor contrário (N/P) reduzindo a resistência do coletor e mantendo tensões inversas elevadas.



Transistor de camada epitaxial é mais rápido.

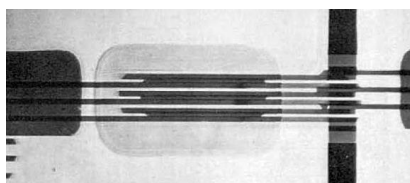
1960 - [John Atalla](#) e [Dawon Kahng](#) (1931 – 1992), Bell Labs, fabricam com sucesso o primeiro transistor de porta isolada MOSFET, cuja realização teórica já tinha sido prevista em 1926.

1960- [Jay Last](#) (1929 – 2021) desenvolve o primeiro circuito integrado comercial baseado no processo planar de Hoerni e o método de Noyce para circuitos monolíticos.

1961 - Ian Ross, Bell Labs, desenvolve o [processo de deposição epitaxial](#) anteriormente proposto por [Gordon Teal](#) (1907 - 2003) e [Howard Christensen](#) e realiza os primeiros transistores extremamente rápidos.

1961 - [Seymour Cray](#) (1925 – 1996), Fairchild, desenvolve o transistor 2n709, o primeiro transistor de silício a ultrapassar um transistor de germânio em rapidez. Este transistor foi desenvolvido para o computador CDC 6600. Cray estava interessado nas arquiteturas de computadores super-rápidos.

1961 - [Paul Weimer](#) (1914 – 2005) e [Harold Borkan](#) (1927 - 2022) , RCA, realizam o primeiro transistor de filme fino. Estes transistores são a base dos modernos visores planos de telemóveis e de monitores e projetores de vídeo.



Transistor de Filme Fino (TFT).

1961- Aparecem os primeiros instrumentos dedicados à indústria de semicondutores.

1962 – [John B. Gunn](#) (1928 – 2008), IBM, inventa o díodo de Gunn, correntemente usado em osciladores de micro-ondas em radares baratos, pois apenas precisa de ser alimentado na zona de resistência negativa e estar colocado numa cavidade ressonante. Os díodos de Gunn de arsenieto de gálio podem funcionar bem até frequências de 200 GHz e os díodos de Gunn de nitreto de gálio podem funcionar bem em frequências da ordem dos THz. Os díodos de Gunn são o dispositivo mais barato para fazer osciladores em frequências extremamente elevadas. Por exemplo, com o díodo Gunn 3A727G, que custa cerca de 8 euros, pode fazer facilmente um oscilador de 50 GHz com a potência de 120mW.

1962- Os circuitos integrados começam a se usados na indústria militar e na aeroespacial.

1962 - IBM, GE, MIT realizam quase simultaneamente o primeiro LASER semiconductor. O semiconductor arsenieto de gálio teve aqui um papel muito importante.

1962- [Orville Baker](#), Signetics, desenvolve a [família lógica DTL SE100](#).

1962- [Nick Holonyak](#) (1928 – 2022) da General Electric (EUA), desenvolve o primeiro LED que produz luz vermelha usando um semiconductor de arsenieto de gálio e fósforo.

1962- [Hanns-Peter Boehm](#) (1928 – 2022) desenvolve o conceito de grafeno e descobrem-se novas propriedades fantásticas do carbono. Nesta substância que se consegue produzir em lâminas com apenas 0,35 nm de espessura os átomos de carbono estão ligados numa forma de estrutura hexagonal com apenas 0,142 nm de comprimento da ligação entre átomos. Passa a ser a substância com melhor condutividade elétrica, maior resistência mecânica e excelentes propriedades óticas.

1962- [Paul K. Weimer](#) (1914- 2005), da RCA desenvolve o primeiro transístor de filme fino, TFT, depois dos trabalhos patenteados em 1957 pelo seu colega [John Wallmark](#) sobre o transístor de filme fino.

1963 - [Paul Weimer](#) (1914 – 2005) and [Torkel Wallmark](#) (1919 - 2007) da RCA desenvolvem a primeira camera de vídeo com sensores de filme fino e transístores MOS. As primeiras imagens tiradas na Lua, em 1968, foram feitas com esta câmara.

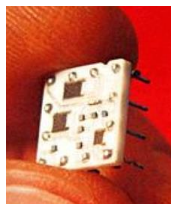
1963 - [Steven Hofstein](#) e [Fredric Heiman](#) (1939 – 2020), RCA, publicam um artigo sobre o transístor MOSFET e fazem os primeiros dispositivos.

1963 - [Frank Wanlass](#) (1933 – 2010), Fairchild Semiconductors, realiza o primeiro circuito CMOS.

1963 - Sylvania fabrica as primeiras funções lógicas *TTL Transistor Transistor Logic* usando transístores bipolares.

1964 - [Robert Norman](#), General Microelectronics, fabrica o primeiro LSI MOS e desenha 23 MOS chips para o computador [Victor Comptometer](#).

1964 - IBM desenvolve a tecnologia dos circuitos híbridos, *Solid Logic Technology* (SLT), produz centenas de milhões de circuitos híbridos para os seus computadores IBM 360.



Módulo SLT da IBM para os computadores IBM 360.

1964 - Texas Instruments fabrica a família lógica TTL 5400 visando as aplicações militares.

1964 - David Talbert and [Robert Widlar](#) (1937 – 1991), Fairchild, desenvolvem o primeiro amplificador operacional [monolítico, o uA702](#).

1965 - Sylvania fabrica as primeiras memórias bipolares ROM de 256 bit para os computadores Honeywell.

1965- Aparece o formato de encapsulamento DIL “Dual in Line” que facilita o projeto de circuitos impressos.

1965- Os maiores fabricantes de computadores anunciam o uso de chips dedicados para reduzir custos.

- 1965- "[Moore Law](#)". Estabelece uma perspectiva de crescimento da densidade de transístores em chips.
- 1966 - Texas Instruments apresenta a série 7400 da família lógica TTL com especificações mais relaxadas e invólucros mais baratos do que os da série 5400.
- 1966 - Tom Longo, Transitron, realiza a primeira memória TTL de 16 bit, TMC3162 16-bit TTL para o microcomputador Honeywell Modelo 4200. Este chip foi usado como 2ª fonte de memórias para muitos fabricantes de memórias e de computadores. [Ver aqui](#).
- 1966- A empresa IBM desenvolve ferramentas de CAD "Computer Aided Design" para facilitar o desenvolvimento de circuitos integrados grandes, evitando erros e perdas de tempo de desenvolvimento.
- 1967 - Texas Instruments desenvolve a primeira calculadora de bolso, um fruto dos desenvolvimentos dos microcircuitos baseados em semicondutores.
- 1967- Aparecem os primeiros ASICS "Application Specific Integrated Circuit" projetados com ferramentas de CAD.
- 1967- Aparecem vendedores alternativos especializados na fabricação de semicondutores com ofertas de venda de fábricas "chave na mão".
- 1967- [John Szedon](#) (1937 - ...) e [Ting L. Chu](#) (1924 - 2017) apresentam o conceito de "charge trapping", CT, em que as cargas são armazenadas num isolador (tipicamente nitreto de silício) em vez de armazenar cargas num condutor como acontece com as portas flutuantes em que é usado uma camada de polisilício dopado.
- 1968 – RCA introduz a família lógica CMOS série 4000, ainda hoje usada dada a possibilidade de trabalhar com uma gama muito grande de tensões de alimentação.
- 1968 - [Frederico Faggin](#) (1931 -) e [Tom Klein](#), Fairchild, desenvolvem o conceito de porta de silício nos MOSFETS IC 3708, que permite aumentar muito a rapidez dos circuitos lógicos. Em 1970 juntam-se à Intel onde vão trabalhar no microprocessador 4004.
- 1968- Um circuito específico para realizar uma fonte de corrente de precisão foi desenvolvido e integrou um conversor de dados analógicos e digitais.
- 1969 – Seiko realiza o primeiro relógio de pulso baseado num LSI CMOS o relógio [SEIKO Quartz Astron \(38SQW\)](#). Foram produzidas apenas 100 unidades e cada uma era mais cara que um Toyota Corolla.
- 1969 – Mostek realiza o primeiro "[Calculator on a chip](#)" o circuito *MK6010*.
- 1969- Desenvolvem-se os circuitos lógicos usando o díodo de Schottky, que duplicam a frequência de operação destes circuitos e reduzem o consumo relativamente aos circuitos lógicos convencionais TTL.
- 1970 - [Willard Boyle](#) (1924 – 2011) e [George Smith](#) (1930 - 2025), Bell Labs, propõem o conceito de "Charge Coupled Devices" CCD. Foram galardoados com o prémio Nobel da Física em 2009.
- 1970- [Bernard Meyerson](#) (1954 - ...) , na IBM, [acidentalmente descobre um processo](#) de criar germânio sobre silício e obter os SiGe transístores. Apareceu aqui um novo tipo de transístores dotados de algumas das vantagens do germânio e do silício com aplicação imediata em circuitos integrados para operar em altas frequências.
- 1970 - AMI desenvolve os [chips MP944](#) para a Garret Air Research controlar várias funções nos aviões F14 da marinha americana.

1970 - Texas Instruments produz o [seu primeiro calculador num chip](#) com cerca de 6500 transístores, que permite fazer uma calculadora de bolso. Faz as 4 funções básicas de cálculo.

1970 - Texas Instruments desenvolve o conceito de PLA “*programmable logic array*” (programado por uma última máscara de ligações metálicas).

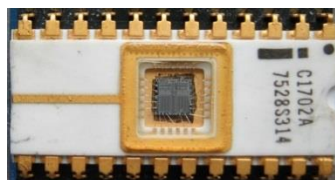
1970 – Uma equipa da Intel desenvolve o conceito MOS Dynamic RAM, DRAM, Intel i1103, que começa a competir com as memórias magnéticas de núcleo de ferrite usadas nos anos 60. Baseando-se no conceito de [William Regitz](#) da Honeywell, Joel Karp, Leslie Vadasz e Bob Abbott, desenvolveram a primeira DRAM.

1971 - Texas Instruments desenvolve o conceito dos transístores Schotky e realiza a família lógica 74S que duplica a rapidez da família lógica TTL convencional.

1971 - Intel lança o primeiro microprocessador monolítico, 4004, que foi usado numa calculadora da Busicom Corp, mas depois foi aberto a outros utilizadores criando o sistema MCS-4 com o chip-set, 4001 ROM, 4002 RAM, e o 4003 *Shift Register*.

1971 - Mostek produz o primeiro chip de calculador de bolso MK6010 usado na 2ª geração de calculadoras da Busicom Corp.

1971 - [Dov Frohman](#) (1939 - ...), Intel, cria a primeira memória EPROM a 1702, Esta memória pode ser reprogramada e apagada com luz UV.



Primeira memória EPROM.

Em 1971 esta memória custou 3 ordenados de assistente do IST. A história é interessante: a INTEL andava preocupada com o armazenamento de cargas elétricas descontroladas durante a fabricação de chips NMOS. Daqui surgiu a ideia de transformar este defeito numa qualidade para armazenar informação. Usa-se aqui o efeito de túnel descoberto em 1928.

1972 - Intel lança o microprocessador 8008 com arquitetura de 8 bits.

1972 - Mostek desenvolve, sob contrato, o conjunto de 3 chips que permitiram à Hewlett Packard fazer a primeira calculadora científica de bolso, a HP35, com uma gama dinâmica de 200 décadas. Também desenvolveu os chips para a HP45.

1972 – [Bill Hewlett](#) (1913 – 2001), cofundador da HP, liderou um grupo de engenheiros para fabricarem a HP 35, um sonho de Hewlett substituir uma régua de cálculo. Hewlett e um grupo de engenheiros que incluiu Dave Cochran (responsável pelos algoritmos), France Rode e Chung Tung (responsáveis pelo projeto lógico), além de John Steven Walther (criador do algoritmo CORDIC).

1972 – [Clive Sinclair](#) (1940 - 2021) desenvolve a calculadora mais fina do mundo a Sinclair Executive usando um chip fabricado pela Texas Instruments TMC1802NC também usado pela Texas Instruments numa calculadora muito maior. Na época a revolucionária calculadora usava uma [inteligente adaptação do chip da Texas Instruments](#).

1974 - Texas Instruments lança o primeiro microcontrolador o TMS1000 e aplica-o na realização de um calculador com um só chip.

- 1974- Texas Instruments desenvolve os 3 processadores que lhe permitem fazer a sua primeira calculadora científica de bolso - a SR50 para competir com a renascida HP 35.
- 1974 - Intel lança o microprocessador 8080 uma versão expandida do 8008 e com ele vários fabricantes introduzem computadores de uso geral no mercado.
- 1974 - Motorola lança o microprocessador 6800.
- 1974 – A empresa Microma desenvolve o primeiro System On Chip, SOC usado no “[Microma LCD digital watch](#)”. O relógio de pulso com visor de cristais líquidos aparece pela mão da Microma.
- 1974 – [Clive Sinclair](#) (1940 - 2021) desafia a Texas Instruments para realizar o primeiro computador Científico de bolso com um único chip. Apesar da desconfiança da TI que usava 3 chips, reduzindo-se a precisão dos algoritmos surgiu o chip TMS0805 que permitiu realizar a calculadora científica Sinclair Scientific, a mais barata do mundo (1/5 do preço da HP35).
- 1975- [MOS Technologies](#) formada por dissidentes da Motorola criam o 6501 e 6502 com enorme sucesso pois eram muito mais baratos do que o 6800 da Motorola, pois era um projeto mais simplificado e era realizado com uma tecnologia mais barata.
- 1975 - [AMD](#) cria a arquitetura *bit slice* Am2900 com componentes lógicos modulares que permitia fazer computadores à medida. Muitos destes computadores foram usados para processamento digital de sinal.
- 1975- [PMI](#) lança o chip DAC08, com 8 bits de resolução, muito barato, que viria a ser uma referência padrão da indústria.
- 1976 - [Zilog](#) lança o microprocessador Z80 com enorme sucesso.
- 1976 - [Intel](#) lança o microprocessador de 16 bits 8086.
- 1978- [Texas Instruments](#), produz o TMS5100 o primeiro chip sintetizador de voz usando técnicas de processamento digital de sinal.
- 1978 - Intel apresenta o I2920 o primeiro processador digital de sinal monolítico, integrando conversores analógico-digital.
- 1978- [John Birkner](#) e [H. T. Chua](#), Monolithic Memories, desenvolvem o primeiro conceito de “*Programmable Logic Array*”, PAL.
- 1978 - [Paul Brokaw](#) (1935 – 2025), Analog Devices, projeta o primeiro ADC monolítico de 10-bit.
- 1979- Os Bell Labs lançam o DSP-1 – o primeiro processador dedicado ao processamento digital de sinal.
- 1979- [P.G. le Comber](#) (1941 – 1992), [W.E. Spear](#) (1921 - 2008) e A. Ghaith da Universidade de Dundee, desenvolvem o primeiro transistor de filme fino, TFT, em silício amorfo. Este dispositivo viria a ter um enorme futuro nos visores de cristais líquidos como elemento de comutação.
- 1979 - [Takashi Mimura](#) na Fujitsu inventa o transistor HEMT.
- 1980 - NEC lança o uPD7720 um microprocessador de sinal mais flexível que o i2920.
- 1980 – RCA desenvolve o primeiro microprocessador usando o semicondutor Arsenieto de Gálio, visando aplicações no espaço. O arsenieto de gálio tem algumas vantagens sobre o silício nomeadamente a capacidade de ser possível fabricar transistores capazes de operar a 250 GHz.

1981 - [Gerd Binnig](#) (1947 - ...) e [Heinrich Rohrer](#) (1933 – 2013) cientistas da IBM Research em Zurique, construíram o primeiro microscópio de efeito de túnel por varrimento, STM, tendo sido galardoados com o Prémio Nobel de Física de 1986.

1983 - Texas Instruments apresenta o TMS32010 um microprocessador de sinal muito eficiente com tecnologia NMOS.

1984 - Altera apresenta o primeiro dispositivo lógico reprogramável o EP300. Foi desenvolvido por Robert "Bob" Hartmann, James Sansbury, Paul Newhagen e Michael Magranet, juntamente com uma equipa de implantação que incluiu Yiu-Fai Chan, Don Wong e Robert Frankovich.

1984- A empresa Seiko apresenta o primeiro TV a cores usando um visor TFT o [Epson ET-10 de bolso](#) de que pode observar uma unidade no Museu Faraday do IST.

1989- O semiconductor [nitreto de gálio GaN](#), permite a realização dos primeiros LED azuis

1985- [Lattice Semiconductor](#) apresenta o conceito de GAL – uma PLA que pode ser apagada e reprogramada.

1985 - [Xilinx](#) apresenta o conceito de FPGA Field Programmable Gate Array com o chip XC2064. Fundada em 1984, a empresa foi adquirida pela AMD em fevereiro de 2022 por US\$ 60 bilhões e agora faz parte do Grupo de Computação Adaptativa e Embarcada da AMD.

1987- [Fujio Mazuoka](#) (1943 - ...), Toshiba, desenvolveu desde 1980 o conceito de memória flash apresentando os resultados em 1987.

1988 - Intel apresenta o conceito de memória tipo flash NOR, com o objetivo de substituir as PROMS nos sistemas de arranque BIOS de muitos computadores. As primeiras memórias flash podiam ser rescritas cerca de 100 a 1000 vezes, antes de falharem.

1990 – Foi fundada [a empresa ARM](#) que domina o mercado dos núcleos IP de computadores.

1993- O uso do semiconductor carboneto de silício começa a ser alternativa para realizar transístores bipolares, JFET, MOSFET e díodos de Schotky, mais robustos do que os que é possível realizar com Silício.

1993- O nitreto de gálio permite [realizar transístores](#) extremamente rápidos que suportam altas temperaturas e são apropriados para micro-ondas e alta potência.

1998- NEC apresenta uma memória flash do tipo [Multilevel Cell](#) em que cada transistor guarda vários bits digitais correspondentes a diferentes níveis de carga armazenada na sua porta flutuante.

2003- [Hideo Hosono](#) (1953 - ...) no [Tokyo Institute of Technology](#) criou a versão cristalina dos TFTs de IGZO e em 2004 criou a versão amorfa destes transístores importantes para os ecrãs transparentes.

2004- Começaram a ser produzidos transístores GaN HEMT que foram fundamentais para o desenvolvimento das redes celulares de telemóveis devido ao excelente comportamento térmico e elevado desempenho em frequências muito elevadas. junção AlGaIn/GaN específica foi relatada em 1991, com os primeiros dispositivos comerciais GaN HEMT introduzidos pela Eudyna Devices, uma parceria entre a [Fugitsu e a Sumitomo Electric](#).

2006 - H. Sellier, G. P. Lansbergen, J. Caro, S. Rogge, N. Collaert, I. Ferain, M. Jurczak, S. Biesemans realizam um [transístor de um único átomo manipulando um átomo](#) de arsénio num transístor MOSFET.

2006 – David M. Cardamone, Charles A. Stafford, Sumit Mazumdar apresentaram o Transistor QuIET ("Quantum Interference Effect Transistor") Transístor de Efeito de Interferência Quântica de uma única molécula. Foi patenteado.

2008- O uso do semicondutor carboneto de silício permite realizar os primeiros transístores de elevada tensão (1200 V) na forma de JFET e de MOSFET.

2009- As empresas Toshiba e SanDisk introduzem as memórias NAND flash QLC em que cada transístor armazena 4 bit de informação digital correspondentes a 16 níveis de carga armazenada na porta flutuante.

2010- Os primeiros transístores de GaN de reforço aparecem no mercado destronando o uso dos MOSFET de potência na preferência em sistemas para elevadas potências.

2012- A empresa Sharp apresenta os primeiros transístores TFT IGZO - de índio-gálio-óxido de zinco.

2015- Foram desenvolvidos os primeiros circuitos integrados usando o semicondutor GaN e em 2016 houve novos avanços com circuitos lógicos CMOS realizados com este semicondutor.

2018 a 2020 os transístores GaN começaram a ser usados em Radares e tecnologia aeroespacial devido ao seu elevado desempenho térmico e resposta extremamente rápida.

2021- [John Biggs](#), et al. apresentam o primeiro microprocessador realizado com transístores IGZO, suportado em poliamida flexível ["A natively flexible 32-bit Arm microprocessor"](#). John Biggs foi um dos 12 fundadores da empresa ARM.