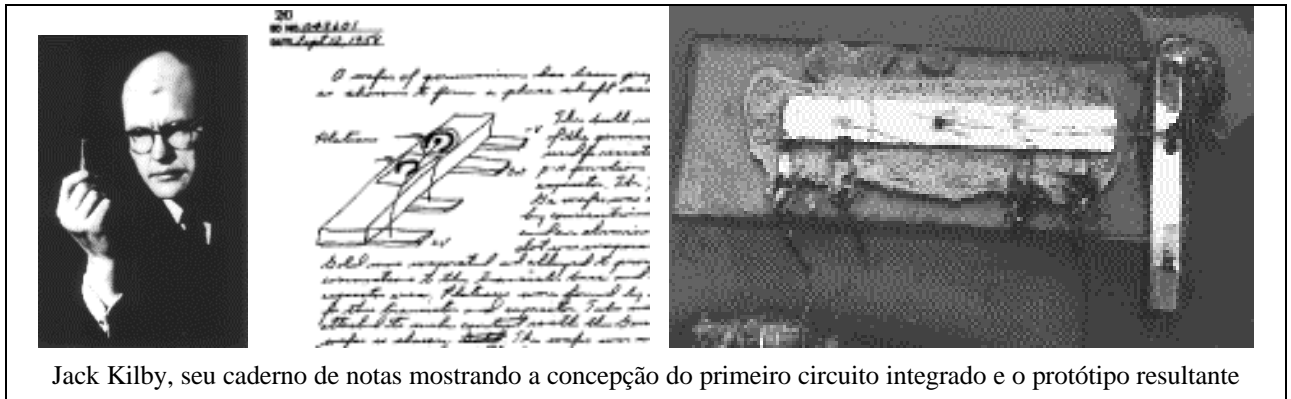


Do Transistor ao Microprocessador

Ewaldo L. M. Mehl

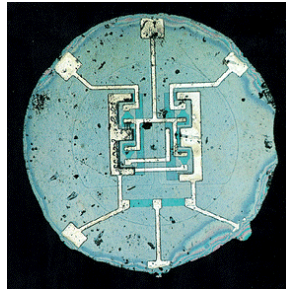
3ª Parte: Entram em cena os Circuitos Integrados

Os primeiros transistores eram fabricados usando o germânio como material semicondutor, pois durante a Segunda Guerra Mundial haviam sido desenvolvida uma metodologia de purificação desse material. As propriedades condutoras dos materiais semicondutores são extremamente sensíveis à presença de outros elementos na estrutura cristalina, mesmo que em quantidade reduzida. Para que um cristal seja útil como semicondutor, as impurezas devem estar no máximo presentes na proporção de um único átomo a cada um bilhão de átomos.



Jack Kilby, seu caderno de notas mostrando a concepção do primeiro circuito integrado e o protótipo resultante

Durante a década de 1950, no entanto, foram desenvolvidos métodos de purificação do silício, de modo a obter cristais desse material suficiente puros para a fabricação de transistores e diodos. Dessa forma, a partir de 1960 o silício começou a ser usado como material semicondutor e rapidamente tornou-se preferido em detrimento do germânio, pois o silício é muito mais abundante na natureza do que o germânio. Além disso, o silício mantém suas propriedades semicondutoras em temperaturas mais elevadas do que o germânio; diodos de silício podem operar a temperaturas de até 200° C, enquanto que os diodos de germânio não funcionam em temperaturas acima de 85° C. Existe uma outra característica do silício, que não era importante nos primeiros anos de sua utilização pela indústria eletrônica, mas que mostrou-se crucial para o desenvolvimento de transistores de baixo custo e para fabricação dos circuitos integrados: o silício, ao contrário do germânio, combina-se em alta temperatura com o oxigênio formando uma camada de óxido de silício (SiO_2) altamente aderente ao cristal. No caso do germânio, a camada de óxido também se forma mas é solúvel em água. O óxido de silício "crescido" sobre o cristal de silício forma uma camada eletricamente isolante mas que pode ser retirada de forma seletiva em algumas áreas através de ataque pelo ácido fluorídrico. Forma-se assim "janelas" por onde pode-se adicionar átomos de outros elementos ao cristal de silício, criando regiões com característica de condução "P" ou "N". Dessa forma, através de um processo de fotolitografia de alta densidade formam-se transistores e diodos sobre a superfície do cristal de silício, conhecido como processo epitaxial. Devido à possibilidade de se automatizar totalmente o processo de fotolitografia, os transistores construídos pela técnica epitaxial tem custo de produção baixíssimo ao mesmo tempo que suas características elétricas são bastante definidas. Dessa forma, atualmente as indústrias podem fabricar milhões de transistores praticamente idênticos, com custo de poucos centavos, em visível contraste com os primeiros transistores que eram montados individualmente e tinham características elétricas extremamente variáveis.



Robert Noyce e um dos primeiros CIs fabricados pela Fairchild, com 4 transistores



Rádio-receptor ICR-100 fabricado pela Sony em 1967, foi o primeiro produto da empresa utilizando circuitos integrados.

Na década de 1960 as válvulas à vácuo vinham sendo rapidamente substituídas pelos transistores. Além do custo de fabricação cada vez mais baixo, os transistores mostravam-se com tempo de vida mais longo que as válvulas e permitiam a fabricação de equipamentos menores e mais confiáveis. Em 1957 os EUA lançam o seu primeiro satélite orbital, o "Explorer" contendo transistores fabricados pela Texas Instruments., A corrida armamentista entre os EUA e a União Soviética ocorrida dessa época, conhecida como "guerra fria", demandava equipamentos eletrônicos sofisticados e os setores militares norte-americanos incentivam pesquisas nas indústrias eletrônicas e nos institutos universitários no sentido de obter transistores cada vez menores e mais confiáveis. Nesse aspecto, desejava-se ter sistemas de cálculo eletrônico para serem empregados em mísseis balísticos de longo alcance, porém ao se reunir milhares de transistores nesses sistemas a confiabilidade era praticamente nula. A demanda por esses "computadores de bordo" fez com que fosse desenvolvido o circuito integrado (CI), reunindo num único cristal de silício vários transistores formando um circuito eletrônico completo. O circuito integrado foi desenvolvido de forma independente na empresa Texas Instruments Jack Kilby em 1958 e por Jean Hoerni e Robert Noyce na Fairchild Semiconductor em 1959. A Kilby é dado usualmente o crédito pelo idéia de se integrar diversos dispositivos num único cristal de semiconductor e provar que podia-se fazer resistores e capacitores sobre tais cristais. No entanto, Kilby fez suas experiências com germânio e não chegou a um circuito integrado funcional. Noyce, por outro lado, é reconhecido como o responsável pelo desenvolvimento do método de fabricação dos elementos individuais sobre uma pastilha de silício. Já Jean Hoerni foi o responsável pela idéia da técnica de fabricação *epitaxial*, que passou a ser usada em vez do processo anterior conhecido como *mesa*, e que de certa forma conduziu ao circuito integrado. Na verdade, Noyce afirmou que quando viu saírem em 1959 das linhas de produção da Fairchild as primeiras pastilhas de silício com dezenas de transistores epitaxiais lado a lado, teve a idéia de interliga-los e formar um circuito eletrônico integrado. O



Aparelho de surdez com circuitos integrados, lançado em 1964.

primeiro circuito integrado fabricado em série pela Fairchild, em 1960, continha 4 transistores, sobre uma pastilha de cristal de silício de aproximadamente 3mm x 3mm e era um *flip-flop* para uso militar. O número de elementos e a complexidade dos circuitos cresceu rapidamente e em 1970 já era possível colocar 1000 transistores no mesmo "chip" de 1960 e, mais

importante, por um custo menor. Em 1964 a Texas Instruments estava fabricando circuitos integrados para aparelhos de surdez e em 1967 a Sony lançou o primeiro rádio-receptor utilizando circuitos integrados.



A calculadora Busicom de 1970, empregando o microprocessador Intel 4004.

Sobre o autor:

Ewaldo Luiz de Mattos Mehl (mehl@eletr.ufpr.br) é formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) em Curitiba. Possui cursos de Mestrado e Doutorado e desde 1982 é professor do Curso de Engenharia Elétrica na UFPR.