

# ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

## 70. CIRCUITOS INTEGRADOS AÑOS 70 Y 80

Ref.- ELECTRONyCOM-14

La importancia de las investigaciones sobre semiconductores y el descubrimiento del transistor (véase Antiguos diodos y transistores) en los Bell Labs hizo que, a Shockley, Bardeen y Brattain se les concediese el Premio Nobel de Física en 1956, subrayando el impacto de la física del estado sólido en el desarrollo de nuevos dispositivos electrónicos. Ese mismo año Shockley fundó su propia empresa, *Shockley Semiconductors* en California, con la intención de comercializar su invención y explorar nuevas tecnologías en el campo de los semiconductores. Fue capaz de atraer y enseñar la tecnología del silicio a un grupo de jóvenes brillantes con formación de ingenieros y científicos. Su empresa fue la semilla de la que iban a nacer multitud de empresas relacionadas con la industria de los semiconductores y el origen de **Silicon Valley** (el valle del silicio). Cansados de los modos erráticos de gestión de Shockley, ocho de los científicos reclutados por él abandonaron la empresa buscando un ambiente favorable para la investigación y el desarrollo. Un empresario apoyó su iniciativa con una financiación inicial de 1.4 M\$ y el 1 de octubre de 1957 crearon Fairchild Semiconductors. En ese momento (tras el lanzamiento del Sputnik I por parte de la Unión Soviética el 4 de octubre de 1957), las empresas de electrónica en EE. UU se sumaron a la “contienda” mediante programas de investigación que mejorasen los sistemas aeroespaciales y de defensa. Fairchild fue fundamental en el desarrollo de los siguientes hitos:

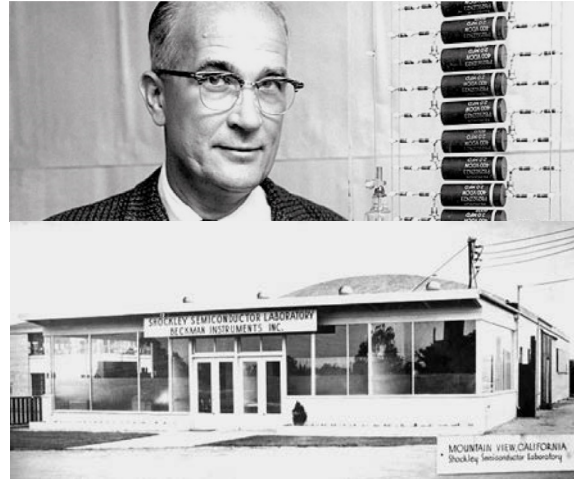


Figura 1. William Shockley. *Shockley semiconductor laboratory* situado en Mountain View, California.



Figura 2. Los 8 ingenieros (conocidos posteriormente como los "Ocho Traidores") que Fundaron Fairchild Semiconductor Corporation eran Julius Blank, Victor Grinich, Jean Hoerni, Eugene Kleiner, Jay Last, Gordon Moore, Robert Noyce y Sheldon Roberts.

- **Transistores de Silicio:** Fairchild vio claramente el potencial de los transistores de silicio en aplicaciones de defensa. En cinco meses desarrollaron e implementaron una nueva línea de transistores de doble difusión de silicio (nombre comercial 2N697). Este dispositivo trabajaba adecuadamente a las tensiones elevadas compatibles con las memorias de ferritas integradas en los ordenadores de a bordo del bombardero B-70 que estaba siendo desarrollado por IBM. Fairchild Semiconductor se convirtió en el primer productor de

# ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

transistores de silicio, que superaban a los de germanio en términos de rango útil de temperaturas, rendimiento y estabilidad.

- **Proceso planar, solución del  $\text{SiO}_2$**  (véase máscara de fotolitografía): Las diminutas partículas metálicas que se desprendían del interior del encapsulado de algunos transistores afectaban a las uniones p-n, y por tanto a su fiabilidad. Jean Hoerni tuvo la idea en diciembre de 1957 de fabricar un dispositivo más compacto y plano protegido bajo una capa de  $\text{SiO}_2$ . Pero la idea requería de un proceso adicional de fabricación e inicialmente pensaban de forma errónea que dicha capa podría contaminar las características eléctricas del transistor. Aun así, un año más tarde, Fairchild fabricó su primer transistor mediante el proceso planar, el 2N1613, que resultó ser mucho más confiable y reproducible que el transistor diseñado mediante el proceso mesa. Los fabricantes empezaron a exigir transistores planos debido a su fiabilidad inigualable, y Fairchild acabó concediendo la licencia del proceso planar a otros fabricantes de transistores.

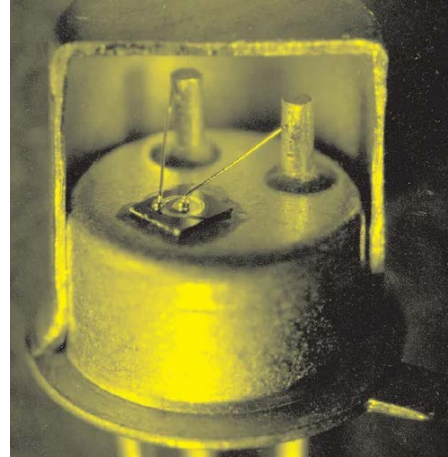


Figura 3. Modelo recortado del primer transistor planar comercial de Fairchild, 2N1613, comercializado en abril de 1960

- Invención del **Circuito Integrado Monolítico (MIC)**: Durante 1957 y 1958, en Fairchild se cortaban los transistores en pequeñas piezas y cientos de personas los conectaban al encapsulado mediante cables utilizando pinzas (Figura 3). Pero tras el éxito del proceso planar de Hoerni, Robert Noyce valoró la posibilidad de **evaporar** pequeñas **líneas de metal** encima de la capa de  $\text{SiO}_2$  prescindiendo de los cables, lo que permitiría realizar todas las interconexiones y conexiones necesarias en un único proceso de fabricación. Esta opción sería extensible a colocar dos transistores distintos en una sola pieza de silicio y conectarlos con las líneas metálicas evaporadas de aluminio o, incluso, conectar otros componentes del circuito, como resistencias y condensadores en la misma pieza de semiconductor (Figura 4, parte inferior).

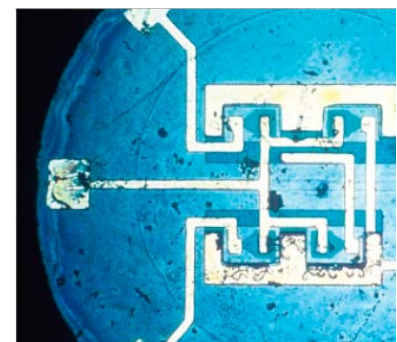
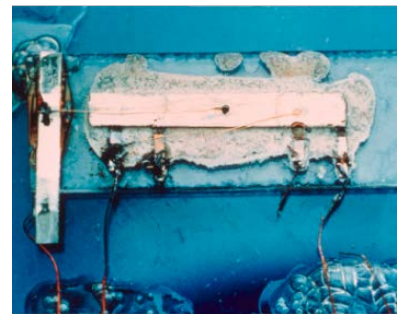


Figura 4. Arriba: "Circuito sólido" de Jack Kilby, Texas Instruments, 1.5 cm. Abajo: "Circuito unitario" de Robert Noyce, Fairchild, ~2.5 cm

En 1958, el ingeniero Jack Kilby se unió a Texas Instruments (TI), empresa rival de Fairchild. De manera simultánea al trabajo de Noyce, Jack Kilby se encontró con el desafío de resolver las dificultades crecientes en la fabricación de componentes electrónicos debido a la complejidad y el tamaño de los sistemas que se iban desarrollando. Tras el verano de 1958, Kilby presentó su primer **circuito integrado**, un pequeño chip de germanio que contenía todos los

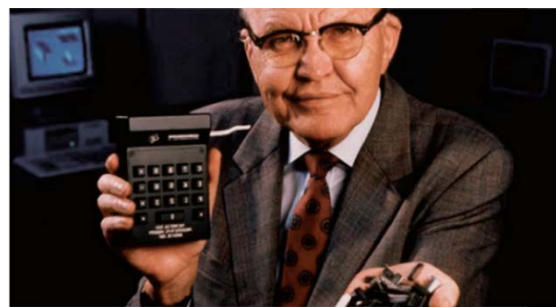
# ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

---

componentes electrónicos necesarios (resistencias, condensadores y transistores) integrados en una única pieza de semiconductor e interconectados mediante cables de oro sobre un portaobjetos de vidrio. En febrero de 1959, Kilby y Texas Instruments solicitaron la patente del circuito integrado que fue concedida en 1964. Desde los años 60 del siglo XX, pequeños **circuits integrados** reemplazaron definitivamente a los circuitos basados en transistores aislados o a las obsoletas válvulas de vacío dando lugar al inicio de la carrera tecnológica asociada a la miniaturización de los transistores:

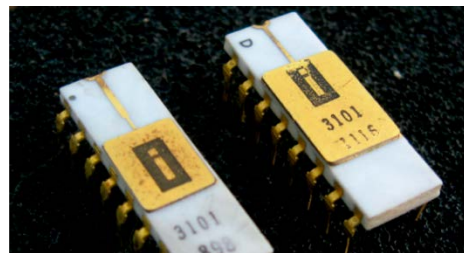
- Texas Instruments aceleró el lanzamiento de la **primera calculadora de “bolsillo”** que integraba la mayoría de los componentes en cuatro CIs, la calculadora “Cal-Tech” en 1967. Ésta era tan potente como los grandes modelos de escritorio electromecánicos, pero no necesitaba estar enchufada al funcionar de forma independiente gracias a sus baterías.

Figura 5. Jack Kilby y dos de sus invenciones más conocidas, la Texas Instruments Cal-Tech y el Circuito Integrado.



- Fairchild Semiconductor no solo innovó en tecnología, sino que también sirvió como una incubadora para futuros líderes de la industria. Gordon E. Moore y Robert Noyce, fundaron una nueva empresa en 1968, que posteriormente renombraron como **Intel**. Un año más tarde aparecen los primeros CIs de memoria de Intel, SRAM (3101 de 64 bits, año 1969) y DRAM (1103, de 1024 bytes, año **1970**). Significó el principio del fin de las memorias de núcleo magnético o de ferrita.

Figura 6. Primeros CIs con memorias semiconductoras SRAM bipolar 3101 de Intel, 1969 que superó a los productos de la competencia a pesar de que las SRAM eran difíciles de desarrollar



- Poco después, en 1971, Intel produciría el **primer microprocesador de la historia**, el 4004, un procesador con una arquitectura de 4 bits que fue utilizado en calculadoras, como la calculadora Busicom, y otros dispositivos embebidos; 5 meses más tarde aparece el 8080 con una arquitectura de 8 bits y destinado a sistemas de control industrial. El procesador mítico por excelencia que desempeñó un papel crucial en la evolución de los microprocesadores de las siguientes generaciones es el microprocesador Intel 8085, lanzado en 1976. Fue una evolución del microprocesador Intel 8080, pero conservando sus características esenciales en cuanto a su juego de Instrucciones en lenguaje ensamblador. Potenciaron sus modos de interrupción y DMA (acceso directo a memoria) que le permitieron un control eficiente de periféricos y dispositivos de entrada/salida por lo que

# ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

causo un gran impacto en el ámbito científico y comercial de aquel tiempo. Además, Intel produjo ROMs, RAMs y chips de soporte compatibles con el microprocesador.

El aumento de la complejidad y la producción en masa de los circuitos electrónicos impulsó el desarrollo de los microprocesadores y las memorias hasta la actual era del microchip y de la sociedad de la información. El resultado de los procesos de diseño y fabricación de los circuitos integrados son chips con diferentes empaquetados (cerámicos, metálicos, etc.) y tamaños adaptados a cada tipo de aplicación. Se muestran, diferentes circuitos integrados de los años 70 y 80:

- Circuitos integrados de los años 70. Dos CIs 8085 de Intel (que datan de 1976 y 1977, según el encapsulado), con empaquetado dual in-line package (DIP o DIL) de 40 pines. Un 8255 de Intel: dispositivo programable de periféricos, se utiliza para dar al CPU 8085 acceso a puertos de entrada/salida paralela programable. Varios M2716, memoria EPROM compatible con el 8085, programable eléctricamente y borrable por UV de 16k bits. La ventana transparente permite al usuario exponer el chip a luz ultravioleta para borrar el patrón de bits. Se puede escribir un nuevo patrón mediante un procedimiento de programación con tensiones más elevadas. Se utilizaba para almacenar el sistema operativo en sistemas basados en el 8080, 8085, y 8086/8088.
- Circuitos integrados de los años 80, fabricados en el Instituto de Microelectrónica de Barcelona (IMB), del Centro Nacional de Microelectrónica (CNM). El IMB-CNM es el mayor centro de España desde su fundación en 1985 dedicado a la investigación y desarrollo de Micro y Nano Tecnologías (MNTs) de silicio y materiales afines para la fabricación de chips, tanto para microsistemas como circuitos integrados. Se observa un chip de test con encapsulado LCC (cuadrado). Se pueden observar los cables de interconexión muy finos (wire bonding) desde el chip hasta los contactos del empaquetado de un DIL48 (dual in line, 48 patillas) que contiene un amplificador de instrumentación integrado en tecnología CMOS.

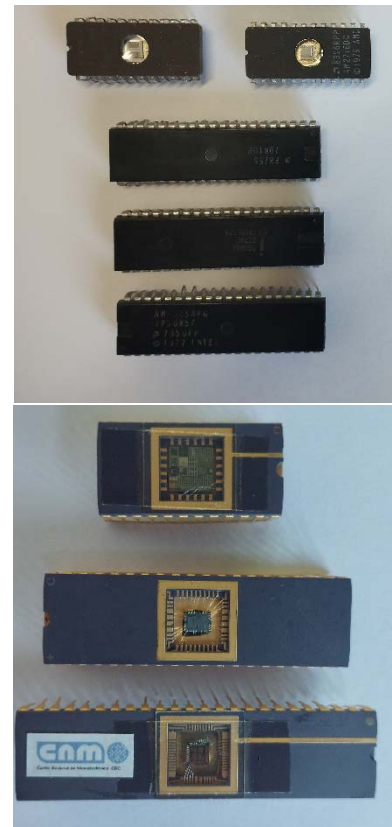


Figura 7. Circuitos integrados de los años 70 (arriba) y 80 fabricados en el IMB-CNM (abajo).

- <https://spectrum.ieee.org/the-silicon-dioxide-solution>
- <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2024/03/31/5700/> "La legendaria Fairchild Semiconductor, dónde todo empezó en Silicon Valley"
- <https://www.nutsvolts.com/magazine/article/the-birth-of-the-integrated-circuit>
- <https://www.imb-cnm.csic.es/es/el-instituto/el-imb-cnm>