

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

49. DIODOS Y TRANSISTORES DISCRETOS CON DIFERENTES ENCAPSULADOS

Ref.- ELECTRONyCOM-09

La década de 1940 fue un período crucial en el desarrollo de la electrónica con destacados avances en los Laboratorios Bell en Estados Unidos. La utilidad de los semiconductores (véase sílice y silicio de grado metalúrgico y electrónico) como detectores de radio o de microondas adecuados para radares potenció que se desarrollaran técnicas para purificar estos materiales y experimentar con el dopaje (añadirles átomos de impurezas de forma controlada). El físico estadounidense Russell Ohl trabajaba en los Laboratorios Bell en la investigación de materiales semiconductores para su uso en detectores cuando descubrió de forma accidental en 1940 el fenómeno del **diodo de unión** mientras investigaba las propiedades de cristales de silicio. Fue uno de los hitos más significativos de esta época. Esclareció que eran las impurezas las que hacían que algunas secciones fueran más resistentes al flujo eléctrico que otras y, por lo tanto, crearan una "barrera" entre estas áreas. Además, observó que cuando iluminaba un cristal de silicio (que por casualidad tenía unas impurezas), este generaba una corriente eléctrica y por tanto cambiaba su conductividad. Esta observación lo llevó a identificar lo que hoy conocemos como la **unión p-n**, una estructura fundamental en la física de semiconductores.

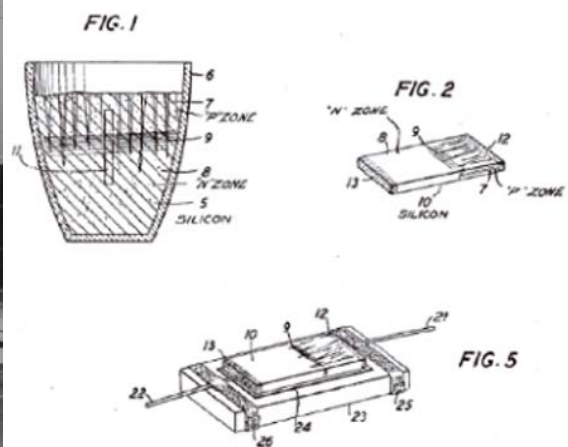


Figura 1. Russell Shoemaker Ohl en su laboratorio de los Bell Labs. Imágenes de su patente U.S. Patent No. US2,402,662A, "Light sensitive device" de células de energía solar basadas en silicio.

La unión p-n se forma cuando se juntan dos tipos de semiconductores: uno con exceso de electrones (tipo n) y otro con déficit de electrones o huecos (tipo p), creando lo que se conoce como un **diodo semiconductor moderno**. Esta estructura permite que la corriente fluya en un sentido, pero no en el otro. Esta propiedad se denomina rectificación y permite convertir la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC) (véase el cargador de batería Philips 1347), y hace que los diodos sean el componente básico de muchos circuitos electrónicos como los detectores de señales. En la mayor parte del siglo XX, los diodos de válvula termoiónica fueron esenciales para funciones analógicas (amplificación, filtrado, rectificación, etc.). Pero actualmente, la mayoría de las aplicaciones utilizan los diodos semiconductores relegando a los

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

diodos de válvula a aplicaciones exclusivas de amplificación de audio, o equipos especializados de alta tensión. El trabajo de Ohl sentó las bases de la física de semiconductores, preparando el terreno para el desarrollo del transistor; habilitando la fabricación de la primera **celda fotovoltaica de silicio**; y facilitando que un año más tarde, en 1955, Gerald Pearson, Calvin Fuller y Daryl Chapin (también en los Laboratorios Bell) crearan por primera vez un **panel solar** que pudo alimentar un dispositivo eléctrico durante varias horas.

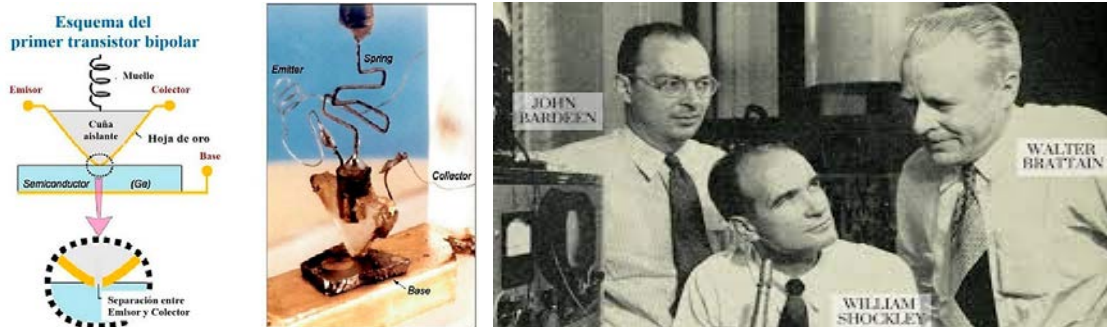


Figura 2. El primer transistor. Bell Labs 1947. William Shockley, John Bardeen y Walter Brattain. Los tres investigadores obtienen el Premio Nobel en 1956 por este invento que fue considerado como “probablemente el invento más importante del siglo XX”.

Terminada la segunda guerra mundial, en los laboratorios Bell, William Shockley se rodeó de un equipo de físicos y químicos que incluía a John Bardeen, especialista teórico en física de semiconductores, y a Walter Brattain, un gran científico experimental. Sus trabajos llevaron al desarrollo del primer transistor de punto de contacto fabricado en germanio (Ge) en 1947, al que denominaron “transistor” (Figura 2). Este dispositivo, basado en principios similares a los del diodo de unión de Ohl, fue el primer interruptor de estado sólido, que además amplificaba señales analógicas. Sin embargo, este dispositivo presentaba problemas de estabilidad y fabricación. Posteriormente Shockley comenzó a trabajar en una versión más robusta y práctica del transistor, y presentó el **transistor bipolar de unión (BJT)** en 1951 utilizando capas de material semiconductor con tipos de conductividad diferente (p-n-p o n-p-n). Esta innovación permitió una amplificación más eficiente y confiable de las señales eléctricas, y marcó el comienzo de la **electrónica de semiconductores** y se convirtió en la base para una vasta gama de aplicaciones en la electrónica diseñadas aprovechando las características específicas de estos materiales, especialmente su fiabilidad, rapidez, bajo coste y consumo.



Figura 3. Transistores discretos de Germanio de Punta de Contacto. GET2, de 1954, fabricado por General Electric Company Limited of England con su paquete original de polietileno sellado con la descripción “Triodo de Cristal”. Colección del Departamento de Estructura de la Materia, Física Térmica v Electrónica (UCM).

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

En la Figura 3 vemos un transistor de 1954 similar al invento original de Shockley, Brattain y Bardeen que era muy poco fiable y se fabricó durante muy poco tiempo por lo que es bastante difícil de encontrar actualmente. Se pueden apreciar los detalles de su estructura representados en el diagrama adjunto de la época. Consiste en un dado de germanio con un electrodo (la base) sobre el que se apoyan dos filamentos metálicos llamados emisor y colector.



Figura 4. Interior y Anuncio del Sonotone, que fue el primer producto transistorizado: con dos tubos de vacío y un transistor de germanio (negro y numerado manualmente), su precio de 1954: \$229,50.

En 1954 salió al mercado el primer transistor de unión de Silicio fabricado por Texas Instruments y su uso se extendió en telefonía, radio, televisión y satélites como el Vanguard o el Explorer. También en 1954, Texas Instruments (TI) lanza la primera radio transistorizada de “bolsillo”, la Regency TR-1, de la que se vendieron unas 150.000 unidades. En su fabricación se medía el rendimiento de cada uno de los 4 transistores de germanio y se marcaba con una mancha de pintura en su encapsulado para clasificarlo.

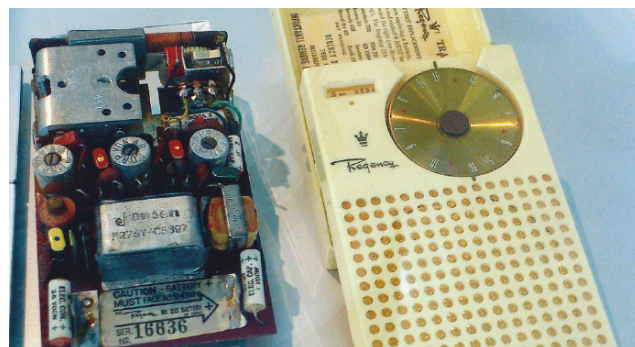


Figura 5. Primer receptor de radio fabricado con transistores, Regency TR-1. En su publicidad se destacaba que es un dispositivo que no utiliza “pesadas válvulas de vacío”.

El fenómeno inverso al efecto fotovoltaico utilizado en las células solares es el fenómeno de la **electroluminiscencia**, en el que se basan los dispositivos optoelectrónicos que convierten la energía eléctrica en luz. Ejemplo de ello es el **LED** (acrónimo del inglés Light-Emitting Diode o **diodo emisor de luz**), diodo compuesto por un cristal semiconductor que desprende energía en forma de luz de un determinado color mediante recombinación al hacer circular una corriente eléctrica por él. El color de la luz del LED depende de las propiedades del material semiconductor con el que se haya fabricado el dispositivo (en particular de su GAP de energía prohibida). Al seleccionar diferentes materiales semiconductores, es posible diseñar LEDs que cubran un amplio espectro de colores, desde el infrarrojo hasta el ultravioleta, lo que permite su aplicación

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

en una variedad de aplicaciones desde iluminación y pantallas hasta comunicaciones y dispositivos médicos.

Cuando trabajaba con Marconi en 1907, el ingeniero Henry Joseph Round observó por primera vez la electroluminiscencia en cristales carburo de silicio. Pero no fue hasta 20 años más tarde que se dio a conocer la creación del primer LED a manos del inventor ruso Oleg Losev, y en sus inicios no se le encontró ninguna utilidad práctica. En 1961, James R. Biard y Gary Pittman, de Texas Instruments (TI) descubrieron una radiación infrarroja (no visible, 900 nm) procedente de un diodo fabricado con arseniuro de galio (GaAs). En 1962 Nick Holonyak de General Electric construye el primer LEDs de semiconductor en el espectro visible, combinando Galio, Arsénico y Fósforo (GaAsP). En la década siguiente, se inventó el LED amarillo y se mejoró la luminosidad de los LEDs rojos utilizando GaP. En 1976, se crearon los primeros LEDs para telecomunicaciones a través de fibra óptica y se comenzó a utilizar un nuevo material, el GaAlAs, que mezcla el Galio con el Aluminio y el Arsénico con un brillo muy superior y corrientes más elevadas, por lo que se pudo utilizar en aplicaciones comerciales como los indicadores luminosos en televisores y los displays de siete segmentos (Figura 5). Inicialmente, los costos de producción de los **diodos LED** eran altos, pero se perfeccionaron los métodos de fabricación y los precios se volvieron más accesibles. En los 90 se empieza a utilizar un material cuaternario (el AlInGaP, formado por Aluminio, Indio, Galio y Fósforo) con el que se podía conseguir una gama de colores desde el rojo al amarillo cambiando la proporción de los materiales que lo componen.

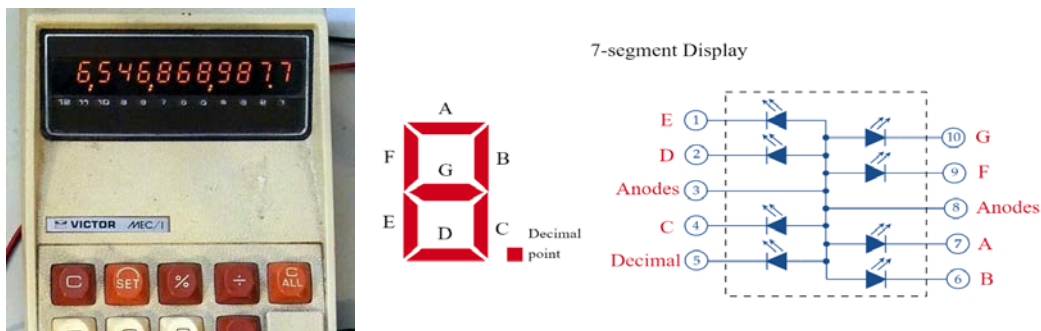


Figura 6. La pantalla Burroughs Panaplex II en una calculadora de 1973. Indicador de 7 segmentos constituido por 7 LEDs (8 si incluimos el punto decimal). Los LEDs (Figura 5, derecha) están ubicados de forma que se visualice un número '8'. Activando algunos de los leds y otros no se van formando los dígitos numéricos mediante un circuito electrónico que consta de 10 pines

En 1994, se presentó el primer LED azul de alta luminosidad, lo que llevó a Shuji Nakamura, Isamu Akasaki e Hiroshi Amano a recibir el premio Nobel de física en 2014. Dado que el azul es un color primario, junto con el verde y el rojo, tenemos hoy en día la posibilidad de obtener toda la gama del espectro combinando los tres, y de formar el color blanco (aunque, posteriormente, se desarrollaron LED blancos utilizando materiales fosforescentes que combinaban luz azul y amarilla). La luminosidad de los LEDs ha ido aumentando gracias a los avances en la industria de semiconductores y sistemas ópticos, y hoy en día se dispone de tecnología que consume un 92% menos que las bombillas incandescentes de uso doméstico común y un 30% menos que la mayoría de los sistemas de iluminación fluorescentes, además de su mayor durabilidad y su menor coste de producción.

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

En la Figura 7 se observan diferentes diodos y transistores discretos con diferentes encapsulados, de los años 70 y 80.

- Diodo Zener. El Zener es un diodo semiconductor muy dopado que conduce en la dirección inversa al alcanzar un voltaje específico, llamado voltaje Zener. Actúa como un diodo normal en directa, pero proporciona un voltaje constante igual a su valor Zener cuando la polarización inversa supera el voltaje Zener. Se utiliza como regulador/limitador de voltaje para garantizar que un componente reciba un voltaje de forma precisa (como, por ejemplo, a un altavoz).
- El transistor de potencia n-p-n de silicio 2N2055 fabricado en EEUU por RCA (Radio Corporation of America) está diseñado para una amplia variedad de aplicaciones de uso industrial y comercial de media tensión y alta corriente tales como circuitos de conmutación de potencia, amplificadores de audio, controlador de regulador en serie y en derivación y etapas de salida, etc. Se caracteriza por ofrecer una elevada ganancia en corriente en dc (superior a 200) para valores de corriente elevadas (<1 A). Emplea el popular empaquetado JEDEC TO-3, que es un tipo de encapsulado metálico cuyo nombre proviene del inglés Transistor Outline Package, Case Style 3, y se usa en aplicaciones de alta potencia donde se precisa de una buena disipación de calor y donde el colector está directamente conectado al cuerpo de este (carcasa), pudiendo verse que solo tiene dos pines o patitas (Figura 8).
- El transistor AF116 fabricado por Valvo-Berichte, Hamburgo, Alemania en la década de 1960. La serie AF11X de transistores es tristemente famosa por ser una fuente constante de problemas conocidos entre los coleccionistas de radios antiguas como el llamado "bigotes de hojalata" o *Tin whiskers* (<https://nepp.nasa.gov/whisker/>). Los acabados de estaño puro son susceptibles al crecimiento espontáneo de estructuras monocristalinas eléctricamente conductoras conocidas como bigotes de estaño que pueden crecer hasta alcanzar varios milímetros (mm) de largo y son capaces de provocar fallos eléctricos y cortocircuitos catastróficos (Figura 8).
- BD-138 de Toshiba son transistores PNP epitaxiales de silicio planos montados en un empaquetado de plástico verde Jedec SOT-32. Están diseñados para utilizarse en amplificadores y controladores de audio junto con transistores complementarios NPN BD135. Son de finales de la década de 1960 y poseen una ganancia desde 40 a 250 y una frecuencia de tránsito de 75 MH (Figura 8).

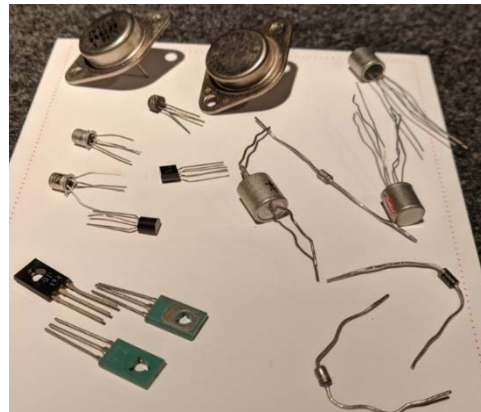


Figura 7. Diodos y transistores bipolares de unión y MOSFET discretos con diferentes encapsulados, años 70 y 80. Diodo Zener en el centro de la imagen.

ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

La popularización de las radios basadas en transistores, y el desarrollo de los servicios de telefonía propiciaron un gran cambio social a través de la música y las telecomunicaciones a partir de los años 50. Paralelamente surgió una nueva industria de la electrónica y la producción de los circuitos integrados alrededor de lo que hoy conocemos como Silicon Valley, en California (véase circuitos integrados años 70 y 80).

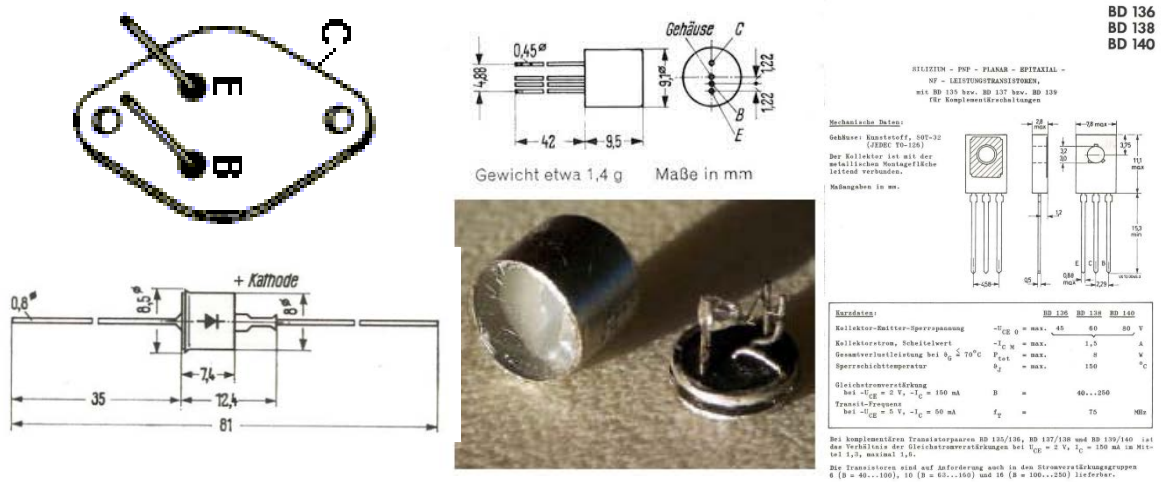


Figura 8. Empaquetado TO-3 del 2N2055 (arriba izquierda). Esquema y conexiones de un diodo Zener de los años 60 (abajo izquierda). Esquema y conexiones del AF116 y "Tin whiskers" de un AF114 (centro). Esquema y conexiones del transistor BD-138 (derecha)

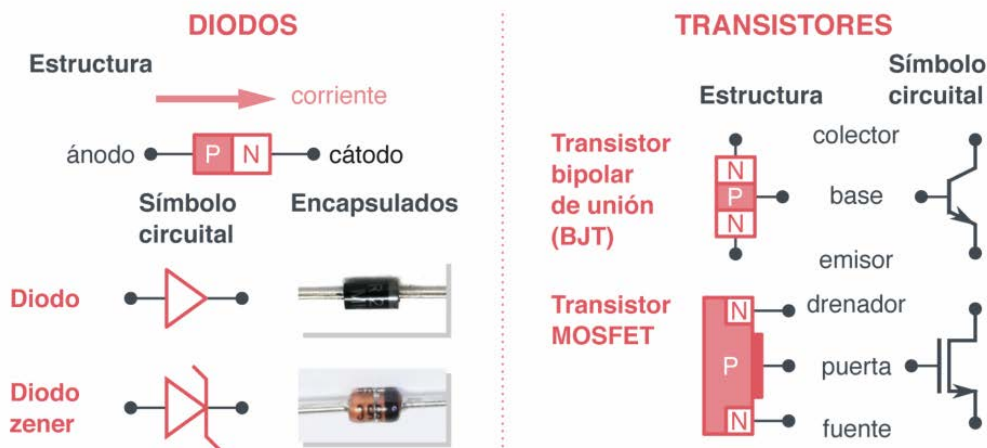


Figura 9. Estructura física, símbolo circuital y encapsulados típicos de los transistores y de los diodos convencional y zener

- <https://granrevoluciondelaelectronica.usal.es/telecomunicaciones/timeline/>
- <https://granrevoluciondelaelectronica.usal.es/chip/timeline/>
- <https://granrevoluciondelaelectronica.usal.es/chip/objetos/>
- <https://monmouthtimeline.org/timeline/russell-s-ohl/>
- <https://unpocodecienciaporfavor.com/2016/04/08/la-invenccion-del-transistor-el-comienzo-de-una-nueva-epoca/>