

SEMBLANZAS DE LOS PREMIOS NOBEL 2000

El Premio Nobel de Física 2000

El 10 de octubre del año 2000 la Real Academia Sueca de Ciencias decidió otorgar el Premio Nobel de Física a los trabajos que han sido básicos para el desarrollo de la tecnología de la información y de las telecomunicaciones. En consecuencia, resolvió conceder la mitad de Premio Nobel a compartir entre el ruso **Zhores I. Alferov** y el norteamericano **Herbert Kroemer** por el desarrollo de las *heteroestructuras* de semiconductores utilizadas en comunicaciones, y la otra mitad, al también estadounidense **Jack S. Kilby** por su participación en la invención del *circuito integrado*, el popular *chip*.

Estas son las sucintas biografías de los galardonados:

- **Zhores I. Alferov** nació en 1930 en Vitebsk (Unión Soviética). Obtuvo el grado de Doctor en Física y Matemáticas en 1970 en el Instituto Tecnológico Ioffe de la Academia de Ciencias en Leningrado. Es Director de dicho Instituto desde 1987, y, en la actualidad, es también Vicepresidente de la Academia de Ciencias y miembro del Parlamento ruso.
- **Herbert Kroemer** nació en 1928 en Alemania. Obtuvo el grado de Doctor en Física en la prestigiosa Universidad de Göttingen. Emigró a Estados Unidos y allí trabajó en los Laboratorios de Radio Corporation of America (RCA) de Princeton (1954-57) y en Varian Associates en Palo Alto (1959-66). Fue Profesor de Física en la Universidad de Colorado en Boulder (1968-76) y posteriormente en la Universidad de California en Santa Bárbara.
- **Jack S. Kilby** nació en 1923 en Jeferson (Missouri). Estudió y se doctoró en las Universidades de Illinois y Wisconsin (USA). Trabajó como Ingeniero en Texas Instruments (Dallas) desde 1958 y fue Profesor en la Texas A & M University desde 1978 hasta 1985. En la actualidad continúa trabajando en Texas Instruments.

UNA DE LAS MITADES DEL PREMIO NOBEL 2000: LAS HETEROESTRUCTURAS

La tecnología de la información ha cambiado radicalmente nuestras vidas en las últimas décadas, desarrollándose con inusitada rapidez. Este espectacular desarrollo ha sido posible gracias al avance de la Física del Estado Sólido.

El transistor ultrarrápido, o *heterotransistor*, y el láser de semiconductores basado en las heteroestructuras han jugado en las telecomunicaciones modernas el mismo papel que jugaron en su día los circuitos integrados en la tecnología de los componentes electrónicos. La mayoría de éstos está formada por semiconductores, que son materiales intermedios entre los conductores y los aislantes. La cantidad de energía necesaria para que los portadores de carga de un semiconductor puedan moverse en forma de electrones o de huecos en la denominada banda de conducción es lo que permite decir si el semiconductor se encuentra más cerca de ser un conductor o de ser un aislante. Cuanto menor es la diferencia energética entre la banda de valencia y la de conducción (*gap*) más próximo está de ser un conductor.

Cuando un semiconductor está constituido por capas delgadas apiladas, de diferente material y, por lo tanto, de distinto *gap*, se dice que es



Zhores I. Alferov.

una heteroestructura. En las últimas décadas los semiconductores del tipo arseniuro de galio (GaAs) han adquirido una enorme importancia. Una de las heteroestructuras más utilizada en la actualidad es la constituida por capas alternadas de arseniuro de galio (GaAs) y de arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs). La sofisticada tecnología actual permite construir heteroestructuras con espesores de capas que van desde algunos nanómetros (capas cuasimonoatómicas) hasta varios micrómetros (capas de varios centenares de átomos)¹. Las capas se eligen de manera que sus estructuras cristalinas se ajusten lo mejor posible (es decir, que sus parámetros de red sean casi idénticos); de esta forma, los portadores de carga pueden moverse casi libremente en la intercapa y prácticamente no lo pueden hacer en la dirección perpendicular. Esta propiedad es la que

¹ Para más detalles, ver los trabajos del Prof. Federico García Moliner en *La Física del Siglo XX*, monográfico de A DISTANCIA (Primavera 1994), págs. 131-136, y del prof. Rolando Pérez Álvarez en 100cias@uned, n.º 1 (1998), págs. 41-47.

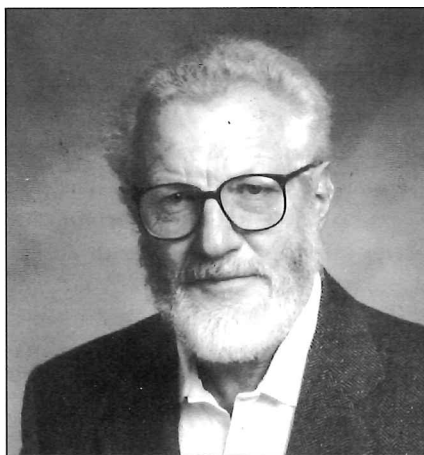
permite que las heteroestructuras tengan importantes aplicaciones tecnológicas. Por ejemplo:

- Los amplificadores de alta frecuencia y bajo ruido construidos con heteroestructuras se emplean en las comunicaciones vía satélite y en la telefonía móvil para mejorar la relación señal/ruido.
- Los láseres de semiconductores basados en heteroestructuras se utilizan en las comunicaciones por fibra óptica, en las memorias ópticas, en las cabezas de los lectores de CD's, en los lectores de los códigos de barras, etc.
- Los diodos emisores de luz basados en heteroestructuras podrán substituir, en el futuro próximo, a las lámparas de los coches.

También las heteroestructuras han tenido una gran importancia en la investigación científica: las propiedades del llamado gas electrónico bidimensional, formado en las intercapas de los semiconductores, han sido el punto de partida para el estudio del efecto Hall cuántico (tema de los Premios Nobel de Física 1985 y 1998²) y de otros efectos cuánticos.

El heterotransistor

El primer trabajo proponiendo la construcción de un transistor basado en heteroestructuras se debe a Kroemer y fue publicado en 1957 cuando trabajaba en los Laboratorios de la RCA. Su trabajo (teórico) mostraba que un transistor de estas características podía ser superior a un transistor convencional, sobre todo en aplicaciones de alta frecuencia y en la amplificación de la corriente. Con un heterotransistor se ha podido medir una frecuencia de unos 600 GHz, unas cien veces mayor que la que es capaz de medir el



Herbert Kroemer.

mejor de los transistores tradicionales. Otra ventaja es que la relación señal/ruido en los amplificadores construidos con estos heterotransistores es mucho más alta.

Los láseres de heteroestructuras

Las heteroestructuras han tenido una importancia crucial en el desarrollo de los láseres de semiconductores. El principio para la construcción de láseres de heteroestructuras fue propuesto, independiente y simultáneamente, en 1963 por Alferov, que trabajaba en el Instituto Ioffe de Leningrado, y por Kroemer, que trabajaba entonces en la Casa Varian en Palo Alto. Alferov fue el primero que tuvo éxito en producir una heteroestructura de AlGaAs/GaAs bien adaptada, con barreras bien definidas entre las capas (en el año 1969). Su grupo de investigación desarrolló muy rápidamente, y con éxito, muchos tipos de componentes construidos con esta heteroestructura.

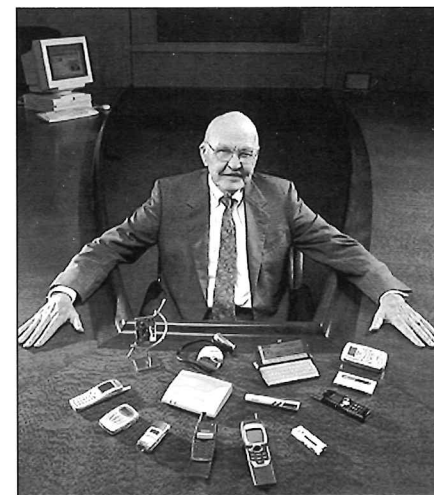
El láser de inyección, o diodo láser, basado en el semiconductor de GaAs, que había sido patentado por Alferov en 1963, presentaba el inconveniente de que su eficiencia era muy baja; sólo funcionaba en régimen pulsado y a temperaturas de unos 100 °C bajo cero. Kroemer tuvo la genial idea de utilizar heteroestructuras para construir un láser de semiconductor que pudiera trabajar a temperatura ambiente. En una heteroestructura se confinan mejor los electrones en la intercapa y éstos

ceden más eficientemente su energía en forma de luz. Debido a la diferencia de índices de refracción entre los dos semiconductores, la luz puede ser guiada a lo largo del material central como en una fibra óptica. Con este mismo principio, y simultáneamente, Alferov propuso un láser basado en la heteroestructura que él mismo había desarrollado.

Cuando la tecnología permitió fabricar heteroestructuras de suficiente calidad para llevar a la práctica las ideas de Kroemer y Alferov, los láseres basados en ellas fueron capaces de trabajar en régimen continuo y a temperatura ambiente. Se produjo entonces el espectacular avance tecnológico de los años 70 en este campo, gracias al cual las comunicaciones por fibra óptica son hoy posibles.

LA OTRA MITAD DEL PREMIO NOBEL 2000: EL CHIP

En 1956 la Real Academia Sueca de Ciencias dedicó el Premio Nobel al descubrimiento del



Jack S. Kilby.

transistor que, inventado en 1947, fue el punto de partida de la tecnología de los semiconductores de la segunda mitad del siglo pasado. Con el transistor³ llegó un componente electrónico que era muy

² Ver el trabajo del prof. Miguel Giménez Murria en 100cias@uned, n.º 2 (1999), págs. 64-69.

³ Ver el trabajo del prof. José Mira Mira en 100cias@uned, n.º 1 (1998), págs. 70-74.

pequeño, más seguro y de menor consumo energético que las válvulas de radio, las cuales perdieron su importancia. Los sistemas electrónicos a base de válvulas tenían un límite claro en el número de componentes (alrededor de unas 1000 válvulas como máximo.) Con los transistores soldados unos a otros en un circuito impreso podía incrementarse el número de elementos en diez veces. Aún así, para la industria emergente de los computadores, los circuitos impresos seguían constituyendo un obstáculo por la limitación en el número máximo de transistores que se podían emplear.

A principios de los años 50 surgió la idea de integrar en un mismo bloque transistores, resistores y condensadores, es decir, se "soñaba" con el *circuito integrado*. Los primeros que demostraron la posibilidad práctica del circuito integrado fueron los ingenieros norteamericanos Jack S. Kilby y Robert Noyce, que trabajaban independientemente en Dallas y en San Francisco, respectivamente. Kilby fue el primero en patentar el invento, y Noyce conoció este trabajo cuando él se proponía patentar el suyo.

El circuito integrado es más un invento de la tecnología que un descubrimiento de la Física. Sin embargo, es evidente que contiene muchas cuestiones de Física. Por ejemplo: ¿cuál es la razón por la que el aluminio y el oro, que forman parte de un circuito integrado, se adhieren de diferente manera al silicio?, ¿cómo conseguir capas tupidas de un espesor de pocos átomos?...

Es obvio que el desarrollo de los circuitos integrados conlleva enormes inversiones económicas en investigación en el área de la Física del Estado Sólido. Este hecho no solamente ha conducido al desarrollo de la tecnología de los semiconductores sino que ha permitido un espectacular avance en instrumentación. Ahora bien, la necesidad de hacer los elementos cada vez más pequeños presenta límites físicos y materiales y constituye nuevos problemas a resolver.

Aunque la noción de circuito integrado ya existía, tuvieron que pasar diez años desde la invención del transistor para que la tecnología implicada fuera capaz de materializarlos. Hoy, cuarenta años después, la tecnología del circuito integrado sigue estando en una fase dinámica de creciente desarrollo. Prueba de ello es que desde que en 1961 Texas Instruments fabricara un pequeño ordenador con varios cientos de circuitos integrados, del mismo poder de cálculo que uno de los convencionales basados en circuitos impresos, pero mucho más pequeño y menos pesado, hasta los actuales microprocesadores Pentium, las grandes compañías del sector no han parado de invertir en el desarrollo de técnicas y de materiales para hacer cada vez más pequeños (procesos de miniaturización) los circuitos integrados.

Tanto Kilby como Noyce son considerados como los inventores del circuito integrado. Kilby fue el que construyó el primer circuito. Noyce lo desarrolló para que posteriormente fuera fabricado utilizando silicio como semiconductor, dióxido de silicio como aislante y aluminio como elemento eléctrico conductor. Por ello, ambos han recibido numerosos premios y distinciones.

Robert Noyce murió en 1990. Se le considera uno de los padres del *Valle del Silicio*. Es el principal responsable del carácter de líder de su compañía en el desarrollo de la tecnología de la información utilizando como piedra angular el circuito integrado.

Jack S. Kilby ha continuado su carrera de inventor, contando en su haber más de sesenta patentes. Entre otras cosas es el coinventor de la calculadora de bolsillo, que constituyó una de las primeras aplicaciones del circuito integrado.

Carmen Carreras Béjar
Manuel Yuste Llandres

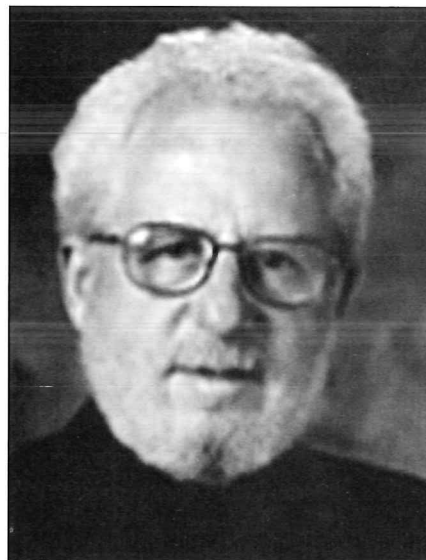
Dpto. de Física de los Materiales

El Premio Nobel de Química 2000

POLÍMEROS CONDUCTORES

El Premio Nobel de Química del año 2000 fue concedido a los científicos estadounidenses **Alan J. Heeger** y **Alan G. MacDiarmid** y al científico japonés Hideki Shirakawa por el descubrimiento y desarrollo de los *polímeros conductores* de electricidad.

El profesor Alan J. Heeger nació en 1936 en Sioux City (Iowa, USA). Se doctoró en Física en 1961 por la Universidad de Berkeley en California. En 1962 inicia su vida académica como Profesor Asistente



Profesor Alan J. Heeger.

en la Universidad de Pennsylvania y en 1982 es nombrado Director del Instituto de Polímeros y Sólidos Orgánicos de la Universidad de California en Santa Barbara. Posteriormente, en 1990, fundó la empresa Uniax Corporation que produce *polímeros conductores* y de la que fue Presidente hasta 1994. En 1996 fue nombrado Doctor *Honoris Causa* por la Universidad de Linköping (Suecia) y en 1998 por la Universidad Abo Akademic (Finlandia).

El profesor Alan G. MacDiarmid nació en 1927 en Masterton (Nueva Zelanda), pero es ciudadano de EE.UU. Profesor de Química en la Universidad de Pennsylvania desde