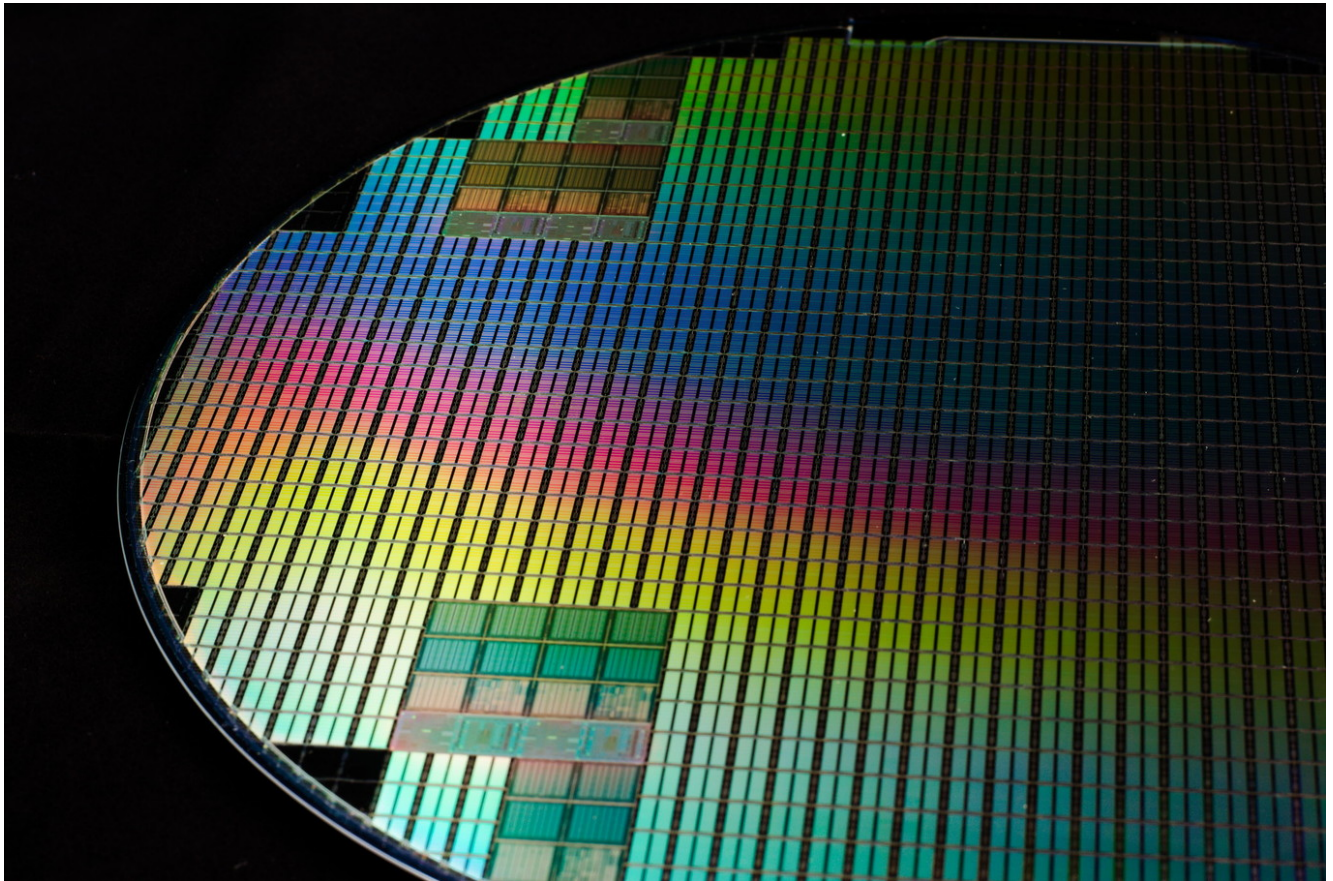


Transistores inversos: qué son, para qué sirven y por qué aspiran a reinventar la electrónica



El mundo de la electrónica parece abocado a experimentar un cambio con una envergadura equiparable a la del que se produjo hace algo más de setenta años, cuando los transistores irrumpieron para poner fin al reinado de las válvulas de vacío. A los fabricantes de semiconductores cada vez les cuesta más continuar mejorando su tecnología de fabricación porque cada paso que dan les acerca más **al límite físico impuesto por el silicio**. Pero, afortunadamente, parece que estamos rozando con la punta de los dedos la solución a este problema.

Sungsik Lee, un profesor de ingeniería electrónica de la Universidad Nacional de Pusan, en Corea del Sur, y antiguo investigador de la Universidad de Cambridge, en Reino Unido, ha publicado una investigación en la que describe en el plano teórico **un nuevo tipo de dispositivo electrónico** capaz de llevar a cabo la función inversa de un transistor.

Pero lo realmente interesante es que en su estudio defiende que estos «transistores inversos» nos permitirán fabricar circuitos integrados más simples, más rápidos y con un consumo inferior, por lo que se postula como la tecnología que **podría evitar el estancamiento de los semiconductores**. Tanto es así que en su artículo, que ha sido publicado en el diario de IEEE y ha tenido eco en la revista del MIT y el repositorio de la Universidad de Cornell (Estados Unidos), Lee habla de un «nuevo paradigma» del mundo de la electrónica.

Qué es un transistor inverso y qué nos promete esta tecnología

Antes de que veamos qué es un transistor inverso nos viene bien repasar **qué es un transistor convencional**. Actualmente podemos encontrar estos diminutos elementos en prácticamente cualquier circuito integrado que podamos imaginar: microprocesadores, amplificadores de potencia, conmutadores, rectificadores, osciladores... Y esto en la práctica significa que residen dentro de nuestros ordenadores, smartphones, tabletas, equipos de música, televisores, radios, coches, equipamiento médico y un sinfín de dispositivos más.

Aunque sus precursores son aún más antiguos, los primeros transistores tal y como los conocemos actualmente fueron inventados en 1947 por John Bardeen, William Shockley y Walter Brattain, tres físicos de los Laboratorios Bell. Una forma sencilla de definir un transistor nos invita a describirlo como **un dispositivo electrónico semiconductor** que es capaz de responder a una señal de entrada entregándonos una salida

determinada. Un amplificador electrónico, por ejemplo, incrementará en su salida la potencia, la tensión o la corriente de la señal que coloquemos en su entrada, recurriendo, eso sí, a una fuente de alimentación externa.

Los primeros transistores fueron inventados en 1947 por John Bardeen, William Shockley y Walter Brattain, tres físicos de los Laboratorios Bell

Existen varios tipos de transistores (bipolares, de contacto puntual, de efecto campo, uniunión, de electrón único, fototransistores, electroquímicos orgánicos, etc.), pero, afortunadamente, no hace falta que profundicemos en ellos para entender qué son los transistores inversos, que es lo que realmente nos interesa en este artículo. Nos basta conocer dos datos más acerca de los transistores. Por un lado, que **son elementos activos** dentro de los circuitos integrados. Y, además, que los que nos han permitido alcanzar el nivel de integración que utilizan las técnicas litográficas actuales son los de efecto campo (FET).

Este diseño muestra la posible estructura de un 'trancitor' tal y como lo propone Sungsik Lee en su investigación. A diferencia de los condensadores, las bobinas o las resistencias, que son elementos pasivos, **los transistores son componentes activos** de un circuito porque o bien ejercen una función de control sobre su comportamiento, o bien introducen una determinada ganancia debido a que actúan de forma no lineal. Esto significa que la relación entre la tensión aplicada y la corriente que demanda el circuito no puede expresarse recurriendo a un valor constante, lo que introduce una complejidad que no está presente en los sistemas lineales.

Sin embargo, el comportamiento de los condensadores, las resistencias y las bobinas, que, como hemos visto, **son elementos pasivos** en un circuito eléctrico, está claramente delimitado y es lineal. Además, facilitan la conexión de los componentes activos y hacen posible la transferencia de la

señal eléctrica mediante el almacenamiento en campos magnéticos o eléctricos, o por medio de la disipación de la energía eléctrica.

Los condensadores, las bobinas y las resistencias son elementos pasivos de un circuito eléctrico, mientras que los transistores son elementos activos

Por otra parte, de los **transistores de efecto campo (FET)** nos interesa saber, sin entrar en detalles complejos, que utilizan el campo eléctrico para dejar pasar o no la corriente por un canal que transporta un solo tipo de carga eléctrica. Este tipo de transistores es el que ha hecho posibles los circuitos integrados que utilizamos actualmente en nuestros sistemas digitales.

Durante las últimas décadas muchos investigadores se han esforzado para estudiar las características de los elementos pasivos de los circuitos eléctricos con la intención de averiguar si existen otros componentes con diferentes propiedades que puedan reemplazarlos o complementarlos. Sungsik Lee, sin embargo, ha acometido una tarea similar, pero con los componentes activos. Con los transistores. Y el resultado de su investigación **son los 'trancitores'**.

Este es el experimento descrito por Lee en su artículo para demostrar que la introducción de los 'trancitores' en un circuito integrado devendría en una reducción significativa tanto del espacio que ocupa como de su consumo.

La palabra 'transistor' describe con bastante precisión qué es lo que hace uno de estos elementos: toma una señal de entrada y transporta o no corriente en la salida. Podemos imaginarlo como algo parecido a una resistencia con capacidad variable. De hecho, la palabra 'transistor' procede de los términos en inglés *transfer* (transferencia) y *resistor* (resistencia). Lo que Lee ha descrito es un dispositivo con unas características similares a las de los transistores, pero, a diferencia de estos, capaz de tomar una señal de entrada y **transportar o no**

voltaje en la salida. Es algo similar a un hipotético condensador con una capacidad de acumulación de energía variable.

El término que propone Sungsik Lee para identificar los transistores inversos es 'trancitor'

El término que propone Lee para identificar el elemento que ha ideado es 'trancitor' porque sus propiedades, tal y como sucede con la palabra 'transistor', se pueden condensar a partir de los términos en inglés *transfer* (transferencia) y *capacitor* (condensador). No obstante, no debemos pensar en los 'trancitores' como elementos activos concebidos para reemplazar a los transistores, sino como dispositivos diseñados **para convivir con ellos** en un mismo circuito.

¿Qué sentido tiene entonces utilizar en nuestros circuitos integrados más elementos aún? Parece lógico pensar que introducir los 'trancitores' sin eliminar los transistores incrementará la complejidad, el consumo y el tamaño de los circuitos integrados. Sin embargo, Lee asegura que no es así porque la introducción de los 'trancitores' conlleva el uso de **una cantidad inferior de transistores**. Esa es, según este investigador, la clave.

Para demostrar su teoría Lee propone un ejemplo sencillo que ilustra con bastante claridad las ventajas que acarrea el uso de los 'trancitores'. Combinando un solo 'trancitor' y un único transistor podemos fabricar **un amplificador de voltaje**, pero si queremos obtenerlo utilizando únicamente transistores tendremos que emplear cuatro de estos elementos. Justo el doble, lo que tiene un impacto claro en la complejidad, el tamaño y el consumo del circuito.

Acabamos de exponer las ventajas que conlleva la introducción de los 'trancitores' en los circuitos integrados: un menor consumo, menos complejidad y menos espacio. Pero aún falta otra ventaja importante que Lee también refleja en su

investigación: los circuitos que integran 'trancitores' **son más rápidos**. Y todo esto en la práctica debería tener un impacto muy claro en los dispositivos que utilizamos cotidianamente y en cuyo interior residen circuitos integrados, como, por ejemplo, nuestros ordenadores.

Y es que la tesis de Sungsik Lee refleja que la introducción en nuestros dispositivos electrónicos de circuitos integrados «transistor-trancitor» en vez de los tradicionales circuitos «solo transistor» debería reducir sensiblemente su consumo, su complejidad y su tamaño, pero incrementando, al mismo tiempo, su rendimiento. De ahí **el «cambio de paradigma»** del que este investigador habla en su artículo.

¿Qué pinta la «Ley de Moore» en todo esto?

Si tenemos presente todo lo que hemos repasado hasta este momento y se confirman las propiedades tan atractivas que tienen sobre el papel los 'trancitores' no resulta difícil intuir que su introducción en la tecnología electrónica actual tendría un efecto muy positivo. Llegados a este punto nos viene que ni pintado recuperar la definición de la **Ley de Moore** que nos propuso Norberto Mateos, el Gerente de Intel España, durante la entrevista que le hicimos a principios del pasado mes de agosto.

Los circuitos que combinan transistores y 'trancitores' serán más sencillos, más rápidos y consumirán menos, según la investigación de Sungsik Lee

Según Norberto, «la Ley de Moore, que fue observada en 1965, y que, por tanto, tiene más años que la propia Intel, se ha enunciado de diferentes formas dependiendo del momento. Durante las décadas de los 90 y la pasada hablábamos de velocidad. Después comenzamos a hablar de rendimiento. Al final, lo que la Ley de Moore ha establecido **es una**

expectativa sobre la industria electrónica en general respecto a la cantidad de avance, funcionalidades y tecnología que somos capaces de poner en el mercado, y que es lo que motiva a los usuarios a comprar».

Si, tal y como Sungsik Lee defiende, la combinación de los transistores y los 'trancitores' nos permite fabricar microprocesadores, que no son otra cosa que circuitos integrados extraordinariamente complejos, más rápidos, simples y con un consumo inferior al de los actuales, es evidente que a la Ley de Moore **puede quedarle cuerda para rato**. Eso sí, para que esto sea posible es necesario que la reducción de la complejidad que promete esta innovación se confirme, de modo que pueda tener un impacto directo y positivo en las técnicas de litografía que utilizamos actualmente.

Los 'trancitores' aún no están listos: este es el reto que tenemos que resolver

Por el momento todo lo que propone Sungsik Lee en su investigación queda circunscrito al ámbito teórico y es difícil prever cuándo conseguiremos fabricar los primeros 'trancitores'. El motivo es bastante contundente. Sabemos cómo deberían funcionar y cuáles serán sus propiedades. También sabemos qué efecto tendría su introducción en los circuitos integrados que diseñamos y fabricamos actualmente. Pero aún no sabemos **cómo podemos obtenerlos**.

Lee propone la posibilidad de fabricar los 'trancitores' aprovechando el perfectamente conocido «efecto Hall», que es un fenómeno que provoca la generación de un campo eléctrico en el interior de un conductor por el que circula una corriente cuando está sometido a un campo magnético en dirección perpendicular al movimiento de las cargas. Pero hay un problema que todavía no ha sido resuelto: los científicos no

saben cómo aprovechar este efecto en **los circuitos CMOS a escala nanométrica**.

En la sección A de este diagrama del «efecto Hall» podemos ver cómo el flujo de electrones atraviesa la sonda Hall, en el centro del esquema. En las secciones B y C los campos eléctrico o magnético están invertidos.

Este es el reto que es necesario resolver para que la tecnología que propone Lee en su investigación llegue a buen puerto. Si queréis conocer lo que defiende este investigador con más detalle y el inglés no os intimida, os sugiero que echéis un vistazo al artículo que ha publicado, y en el que describe con todo lujo de detalles **los fundamentos físicos** de su innovación. Es evidente que queda mucho por hacer, pero al menos tener opciones con un fundamento sólido nos permite entrever el futuro de la electrónica digital con cierto optimismo

Fuente: Xataka