

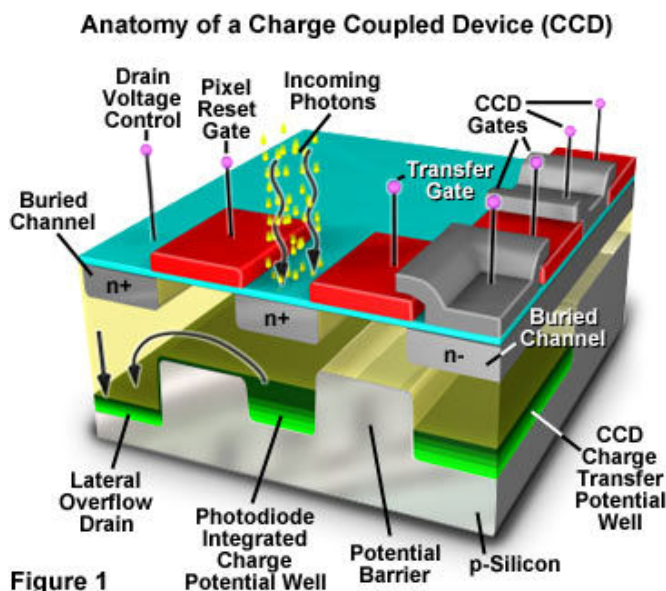
CONCEPTOS SOBRE LA TECNOLOGÍA DE LA IMAGEN DIGITAL

Los CCD (charge-coupled devices), como los microprocesadores y los circuitos de memoria integrados, están fabricados en láminas de silicio en una serie de pasos elaborados utilizando la fotolitografía para definir y construir diferentes elementos funcionales dentro del microcircuito. Cada lámina contiene entre decenas y centenares de dispositivos idénticos, cada uno de ellos totalmente capaz de producir un único chip de CCD para su uso en cámaras digitales. Esta sección contiene vínculos relacionados con documentos acerca de importantes conceptos sobre los CCD, que son de importancia fundamental para formarse una completa comprensión de las técnicas de producción de imágenes digitales.

ANATOMÍA DE UN CCD

La tecnología de un sensor de imagen digital se centra en torno al semiconductor CCD, que tiene un proceso de fabricación similar al utilizado en la producción de circuitos integrados abarcando desde microprocesadores a chips de memoria. Esta sección analiza las características comunes de la anatomía del CCD y los principios básicos del funcionamiento del dispositivo.

Los CCDs (charge-coupled devices) son circuitos integrados basados en silicio que consisten en una densa matriz de fotodiodos que operan convirtiendo la energía de la luz en forma de fotones en carga electrónica. Los electrones generados por la interacción de los fotones con los átomos de silicio se almacenan en un pozo potencial y posteriormente se pueden pasar/transferir desde el chip a través de registros y sacarlos a un amplificador. El esquema de la Figura 1 muestra varios componentes que constituyen la anatomía de un CCD típico:



Los CCDs fueron inventados a finales de los años 60 por investigadores de los Laboratorios Bell que inicialmente concibieron la idea como un nuevo tipo de circuito de memoria para ordenadores. Estudios posteriores, indicaron que el dispositivo también sería útil para otras aplicaciones como el procesamiento de señales e imágenes gracias a su capacidad para transferir cargas y la interacción fotoeléctrica

con la luz. Sin embargo, aquellas primeras esperanzas por un nuevo dispositivo de memoria han desaparecido, aunque el CCD se revela como un candidato líder para un importantísimo proyecto de un detector de imágenes electrónico capaz de sustituir la película en el emergente campo de la fotomicrografía digital.

Fabricados en láminas de silicio, como muchos otros circuitos integrados, los CCDs siguen un proceso que consiste en una serie de complejas etapas fotolitográficas que incluyen grabado al ácido, implantación de iones, deposición de una película fina, metalización y pasivación para definir diferentes funciones dentro del dispositivo. El sustrato de silicio está pulido electrónicamente para formar un silicio de tipo p, material en el que los portadores/transmisores/conductores principales son agujeros de electrones positivamente cargados. En cada lámina se fabrican múltiples hileras/matrices, cada una de ellas capaces de producir un dispositivo de trabajo, después se cortan con una sierra de dientes adiamantados, se prueban y se revisten con cerámica o polímero dejando una ventana de cristal o cuarzo a través de la cual la luz puede penetrar para iluminar la matriz fotodiódica de la superficie del CCD. Explore los pasos empleados en la construcción de un CCD a medida que una porción de la puerta individual de un píxel se fabrica en una lámina de silicio simultáneamente con miles o incluso millones de elementos circundantes.

Cuando un fotón ultravioleta, visible o infrarrojo llega a un átomo de silicio que está cerca o dentro de un fotodiodo del CCD, producirá normalmente un electrón libre y un "agujero" creado por la ausencia temporal del electrón en el retículo cristalino de silicio. El electrón libre se guarda entonces en un pozo potencial (situado dentro del área de silicio conocida como capa de depleción), mientras que el agujero es trasladado del pozo y eventualmente desplazado al sustrato de silicio. Los fotodiodos se aíslan electrónicamente de sus vecinos con un canal de parada, que se forma difuminando iones de boro a través de una máscara en un sustrato de silicio tipo p.

La característica principal de la arquitectura de un CCD es una matriz amplísima de registros de desplazamiento consecutivos construidos con una capa conductiva apilada en vertical de polisilicona pulida y separada de un sustrato semiconductor de silicio por una fina película aislante de dióxido de silicón (Figura 2). Tras haber acumulado los electrones dentro de cada fotodiodo de la matriz, se aplica un potencial de tensión a las capas de electrodos de polisilicio (denominadas puertas) con el fin de cambiar el potencial electrostático del silicio subyacente. El sustrato de silicio colocado directamente debajo de la puerta de electrodos se convierte entonces en un pozo potencial capaz de recoger los electrones generados localmente y creados por la luz incidente. Las puertas vecinas ayudan a encerrar los electrones dentro del pozo potencial mediante la formación de potenciales más altos, denominados barreras de potencial, que rodean el pozo. La modulación de la tensión aplicada a las puertas de polisilicio se puede manipular para bien formar un pozo potencial o una barrera para la carga integrada recogida por el fotodiodo.

CCD Photodiode Array Integrated Circuit

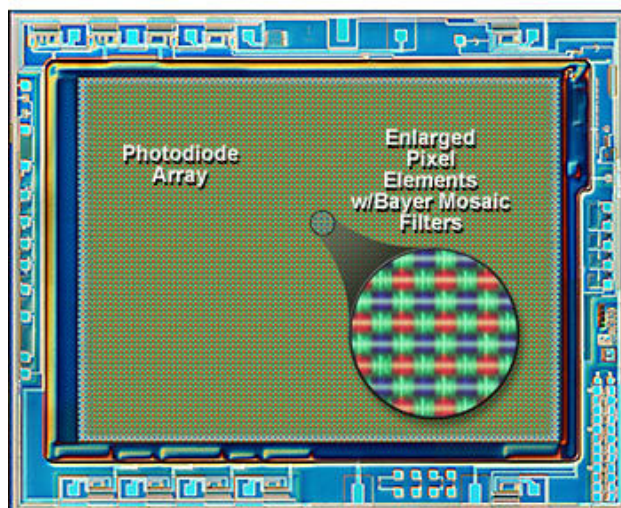


Figure 2

El diseño de CCD más común se compone de una serie de puertas que subdividen cada píxel en tercios/terceros mediante tres pozos potenciales orientados en una fila horizontal. Cada pozo potencial de fotodiodos es capaz de contener un número de electrones que determina el límite superior del rango dinámico del CCD. Tras ser iluminados por los fotones entrantes durante un periodo denominado integración, los pozos potenciales en la matriz de fotodiodos del CCD se rellenan con electrones producidos en la capa de depleción del sustrato de silicio. La medición de la carga almacenada se realiza mediante una combinación de transferencias en serie o en paralelo de la carga acumulada a un único nodo de salida localizado en un extremo del chip. La velocidad de la transferencia de carga en paralelo es generalmente suficiente para que ésta se complete durante el periodo de integración de carga para la siguiente imagen.

CIRCUITO INTEGRADO DE LA MATRIZ DE FOTODIODOS DEL CCD

Tras ser recogidos en los pozos potenciales, los electrones se cambian a paralelo, una fila en una vez, a través de una señal generada desde el reloj de cambio de registro vertical. Los electrones se transmiten a través de cada fotodiodo en un proceso de múltiples etapas/pasos (entre dos y cuatro pasos). Este cambio se realiza pasando el potencial del pozo de retención a negativo, mientras que simultáneamente se aumenta la polarización del siguiente electrodo a un valor positivo. El reloj de cambio de registro vertical opera en ciclos para cambiar las tensiones en electrodos alternos de las puertas verticales para mover la carga acumulada a través del CCD. La Figura 1 ilustra un pozo potencial de fotodiodos adyacente a una puerta de transmisión colocada dentro de una fila de puertas del CCD.

Después de atravesar el sistema de puertas de cambio de registro en paralelo la carga alcanza finalmente una fila especializada de puertas conocidas como el registro de cambio en serie. Aquí, los paquetes de electrones que representan a cada píxel se cambian a horizontal en secuencias, bajo el control de un reloj de cambio de registro horizontal, hacia un amplificador de salida y off the chip. Los contenidos completos del registro de cambio horizontal se transmiten al nodo de salida antes de ser cargados con la próxima fila de paquetes de carga del registro en paralelo. En el amplificador de salida, los paquetes de electrones registran la cantidad de carga producida por sucesivos fotodiodos de la izquierda a la derecha en una única fila comenzando por la primera fila y continuando hasta la última. Esto produce una exploración de raster/trama analógico de carga foto-generada de la matriz bidimensional completa de los elementos sensores de fotodiodos.

En otras secciones que figuran en nuestro apartado Conceptos Sobre Tecnología en la Imagen Digital se tratan otros aspectos de los elementos y diseños de los CCD. Entre estos aspectos se incluyen varios tipos de arquitectura, drains para el antiblooming de los electrones, sistemas de microlentes, binning de píxel, clocking schemes, formatos de scanning y otros temas útiles para una comprensión básica de la teoría y funcionamiento de los CCDs.

Bibliografía:

Mortimer Abramowitz - Olympus America, Inc., Two Corporate Center Drive., Melville, New York, 11747.

Michael W. Davidson - National High Magnetic Field Laboratory, 1800 East Paul Dirac Dr., The Florida State University, Tallahassee, Florida, 32310.