Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 5

Artikel: Das dynamische RAM : ein Low-Cost-Bildsensor

Autor: Wey, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904572

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Das dynamische RAM: Ein Low-Cost-Bildsensor

H. Wey

Der Artikel beschreibt die prinzipielle Möglichkeit, einen dynamischen Speicherbaustein als Halbleiterkamera einzusetzen. Nach einer kurzen Einführung zur Photodetektion in Halbleiterbildsensoren und zur Funktionsweise des dynamischen RAM werden Vor- und Nachteile, Anwendungsbereiche und Resultate dieser etwas unkonventionellen Lösung aufgezeigt.

L'article décrit la possibilité d'utiliser un composant mémoire dynamique comme caméra à semi-conducteur. Après une brève introduction à la photodétection dans des senseurs d'images à semi-conducteur et au fonctionnement de la RAM dynamique, les avantages et les inconvénients de cette solution peu ordinaire sont indiqués, de même que les domaines d'emplois et des résultats.

Vortrag anlässlich der Tagung «Silicon Sensors» des «IEEE Swiss Section, Chapter on Solid State Devices and Circuits», am 16. Oktober 1984 in Bern.

Adresse des Autors

Hubert Wey, dipl. El.-Ing. ETH, Institut für Elektronik, ETHZ, 8092 Zürich.

1. Einführung

Ein elektronischer Speicherbaustein als Bildsensor? Diese Idee erscheint gar nicht so absurd, wenn man beachtet, dass sowohl der Speicher als auch der Bildsensor in Silizium-MOS(Metal-Oxide-Semiconductor)-Technologie aufgebaut ist und beide einen mehr oder weniger regelmässigen Matrixaufbau besitzen.

Ein entscheidender Vorteil ist der niedrige Preis von handelsüblichen dynamischen 16-k- und 64-k-RAM (Random-Access Memory) gegenüber linearen und zweidimensionalen MOS- und CCD-Bildsensoren, bei welchen zudem oft mit längeren Lieferfristen zu rechnen ist. Als Folge ihrer geometrischen Stabilität, eine Eigenschaft aller Halbleiterbildsensoren, bevorzugt man diese für Positionsmesssysteme gegenüber den Röhrenkameras, welche mit Elektronenstrahl abgetastet werden. Als Digitalbaustein ist das dynamische RAM TTL-kompatibel und kommt mit einer +5-V-Speisespannung aus. Beim CCD-Sensor ist die Pixelfolge am Ausgang fest vorgegeben, bei MOS-Sensoren mit Videobus und Schaltern durch die interne Ansteuerung meist ebenfalls. Im Gegensatz dazu besteht beim RAM, wie der Name schon sagt, die Möglichkeit des frei wählbaren Zugriffs auf die verschiedenen Sensorzellen. Der entscheidende Nachteil besteht darin, dass das dynamische RAM eben ein Digitalbaustein ist; die Helligkeitsauflösung beträgt nur 1 bit, d.h. es kann nur hell-dunkel unterschieden werden. Wie später dargestellt wird, ist es mit Hilfe geeigneter Verfahren trotzdem möglich, Grauwerte zu detektieren. Es existieren jedoch viele Anwendungen, wo die 1-bit-Helligkeitsauflösung genügt. Da das dynamische RAM nicht speziell als Bildsensor gezüchtet wurde, gilt zu beachten, dass die Lichtempfindlichkeit mindestens zehnmal kleiner als bei einem CCD-Bildsensor ist. Die Dynamik ist beschränkt, das Sensorfeld nicht kontinuierlich und das Seitenverhältnis Länge zu Breite ungünstig.

Dass sich der folgende Beitrag trotzdem mit dieser Thematik befasst, hat verschiedene Gründe: Erstens wird in den USA seit kurzer Zeit ein modifiziertes Opto-RAM angeboten [1], zweitens ergaben die Versuche mit handelsüblichen RAM am Institut für Elektronik der ETHZ durchaus positive Resultate, und drittens soll dieser etwas unkonventionelle Vorschlag neue Impulse vermitteln im Sinne von Innovation durch Entfremdung alltäglicher Strukturen. Dass die Idee nicht so weit hergegriffen ist, beweist die umgekehrte Situation: CCD-Bildsensoren wurden schon als dynamische Analogspeicher verwendet.

2. Das dynamische RAM

Beim dynamischen RAM besteht jede Speicherzelle aus bloss einem Transistor und einem Speicherkondensator, wie dies in Figur 1 darge-

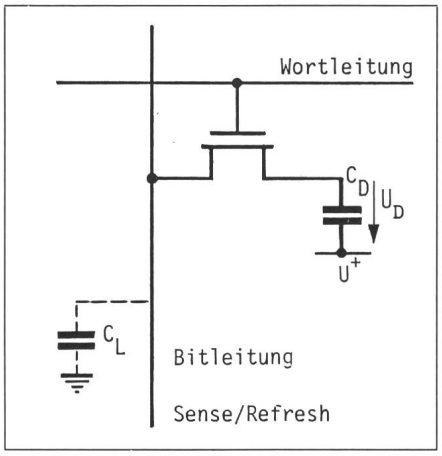

Fig. 1 1-Transistor-Speicherzelle eines dynamischen RAM

C_D Speicherkapazität
C_L Parasitäre Kapazität
U_D gespeicherte Spannung

stellt ist. Beim Speichern oder Lesen wird die Wortleitung aktiviert und über die Bitleitung der Inhalt eines einzelnen Speicherkondensators ein- oder ausgelesen. Je nachdem, ob dieser Ladung oder keine Ladung enthält, ist eine logische «1» oder «0» abgespeichert. Da die Kapazität sehr klein ist, in der Grössenordnung von 0,004 pF, würde sich die parasitäre Kapazität C_L der Bitleitung recht störend auf die Funktionsweise auswirken, hätte man nicht schaltungstechnische Massnahmen getroffen. Die Bitleitung ist an einen Regenerationsverstärker angeschlossen. Kurz bevor die Wortleitung aktiviert wird, bringt man den Regenerationsverstärker in einen metastabilen Zustand. Es braucht dann nur noch eine kleine Ladung vom Speicherkondensator, um den Regenerationsverstärker auf die richtige Seite zu kippen. Gleichzeitig wird dabei die Ladung auf dem Kondensator regeneriert. Alle 2 ms muss ein Lese-Refresh-Vorgang durchgeführt werden (zeilenweiser Refresh durch Aktivieren des RAS-Eingangs). Der Speicherkondensator ist nämlich ein MOS-Kondensator im thermodynamischen Ungleichgewicht, welcher sich allmählich mit Ladungsträgern füllt, wodurch die eingespeicherte Information verfälscht werden kann.

3. Das dynamische RAM als Bildsensor

Die Figur 2 zeigt den technologischen Aufbau einer Speicherzelle. Der MOS-Kondensator (Potentialtopf) ist prinzipiell derselbe wie jener im CCD-Sensor, welcher dort als Lichtdetektor dient. Erzeugt ein Photon in der Nähe des Potentialtopfs ein Elektron-Loch-Paar, so wird das freie Elektron durch das elektrische Feld E (Fig. 2) im Potentialtopf festgehalten. Die Grösse der gesammelten Ladung ist dann proportional zur Lichtintensität. Daneben werden zusätzlich thermisch generierte Ladungsträger im Potentialtopf gesammelt. Bevor jedoch die Photonen ins Gebiet des Potentialtopfes gelangen, müssen sie die Oxid- und Polysiliziumschichten durchdringen. Ein grosser Teil des Lichts wird bereits von der metallischen Wortleitung abgehalten, so dass sich schliesslich ein relativ schlechter Licht-zu-Elektronen-Umwandlungs-Wirkungsgrad ergibt. Beim MOS-Kondensator in CCD-Sensoren besteht die Deckschicht aus dünnem Oxid und nur einer Polysiliziumschicht.

Der Lichtintegrationsvorgang ist in Figur 3 dargestellt. Zum Zeitpunkt Null wird der Speicherkondensator durch einen Schreibbefehl auf Niveau 0 gebracht. Während der Integrationszeit T_{Int} füllt sich nun der Potentialtopf entsprechend dem auffallenden Licht mit Elektronen. Im abschliessenden Read-Vorgang kippt der Kondensator entweder auf Niveau 0 zurück oder auf Niveau 1, falls die Ladungsmenge so gross ist, dass sie die Schwelle überschritten hat. Am Ausgang des RAM erscheint somit eine 0 oder 1, entsprechend der Lichtintensität dunkel oder hell.

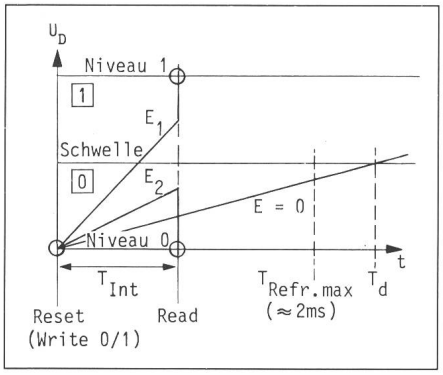

Fig. 3 Verhalten des dynamischen RAM bei Lichteinfall

E Bestrahlungsstärke, $E_1 > E_2$
T_d Kippzeit bedingt durch Dunkelstrom, $E = 0$
T_{Int} Integrationszeit
T_{Refr} Refresh-Zeit
1 0 Logischer Zustand

Eingetragen in Figur 3 ist ferner der Dunkelstrom, d.h. der Strom, der ohne Lichteinfall fliesst. Der Einfluss des Dunkelstroms kann klein gehalten werden, falls $T_{Int} \ll T_{Refr.max}$ gehalten oder der Sensor gekühlt wird, oder falls mittels einer Korrekturmatrix die Dunkelstromanteile jedes Bildpunktes individuell auskorrigiert werden.

Das auf dem US-Markt angebotene Optic RAM [1] ist prinzipiell ein dynamisches 64-kbit-RAM mit extern einstellbarer Referenzspannung. Als Richtwerte für 64-kbit-RAM gelten folgende geometrische Daten:

Pixel-Format	6,4 µm × 6,4 µm
Vertikal-Pitch	6,8 µm
Horizontal-Pitch	8,6 µm

Meist ist das Speicherfeld unterteilt in zwei oder mehrere Teilarrays, z.B. zu je 256×128 Pixel (4,4×0,8 mm), welche durch einen Spalt von 120 µm getrennt sind. Dort befinden sich die Regenerationsverstärker. Die Lichtempfindlichkeit beträgt etwa 2 µJ/cm².

Bei RAM von 64 kbit und höherer Kapazität kann über dem Chip eine Schutzschicht für α-Partikel liegen. Für Bildsensoranwendungen muss diese Schicht, falls vorhanden, entfernt werden.

Die Reihenfolge der Adressen stimmt bei RAM meist nicht mit der örtlichen Reihenfolge der Speicherelemente auf dem Chip überein. Durch einfache kombinatorische Verknüpfung lassen sich aber die Adressen umcodieren (Address-Descrambling), so dass das Bild auf einem Monitor dargestellt werden kann.

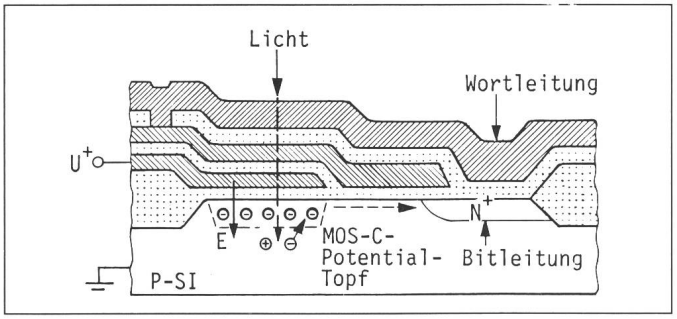

Fig. 2 Technologischer Aufbau einer Speicherzelle

Metall
Polysilizium (Leiter)
SiO_2 (Isolator)

4. Betriebsarten des RAM-Sensors

4.1 Kontinuierlicher Betrieb

Der in Kapitel 3 beschriebene Integrationsvorgang kann nun periodisch repetiert werden, wobei jeweils eine ganze RAM-Zeile gleichzeitig behandelt wird. Natürlich muss beispielsweise bei einem 64-k-mal-1-bit-RAM jeder Bildpunkt für sich gelöscht und ge-

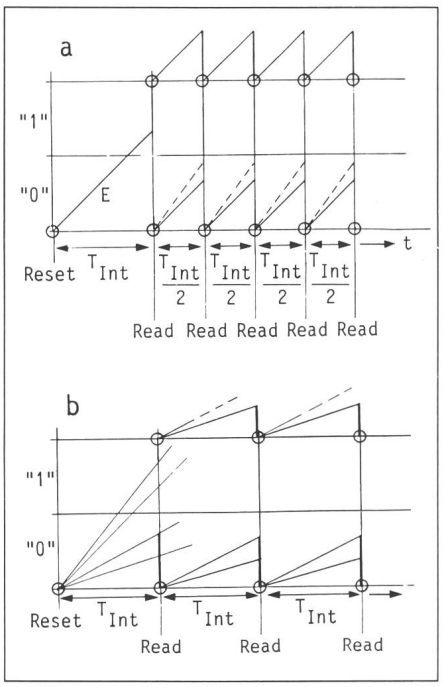

Fig. 4 Betriebsarten des RAM-Sensors
a 1-bit-Sensor und Bildspeicher
b Tracking, Spurverfolgung

lesen werden. Beim Auswählen einer der 256 Zeilen über den Adresseneingang wird aber stets die ganze Zeile zu 256 Punkten regeneriert. Dies hat zur Folge, dass der eigentliche Integrationsvorgang mit dem Anwählen des letzten Punktes der Zeile startet und mit dem ersten Lesevorgang der Zeile mit derselben Adresse endet. In der Zwischenzeit wird die Zeile nicht selektiert und bleibt unverändert. Während die eine Zeile integriert, können andere Zeilen gelöscht oder gelesen werden.

4.2 1-bit-Sensor und Bildspeicher

Die Wirkungsweise dieser Betriebsart kann einfach erklärt werden. Man muss sich dazu nur auf den ursprünglichen Verwendungszweck des RAM als Speicher zurückbesinnen. Statt wie im kontinuierlichen Betrieb den Integrationsvorgang stets zu wiederholen, führt man ihn nur einmal aus und sorgt mit einer elektronischen Blende, dass das weiter auftretende Licht die Speicherzelle nicht mehr kippen kann. Dazu wird die Integrationszeit stark reduziert. Das Beispiel in Figur 4a zeigt, dass beim Übergang von T_{Int} auf $T_{Int}/2$ die kritische Schwelle nicht mehr erreicht wird.

4.3 Spurverfolgung:

Ein elektronisches Analogon zur Blasenkammer aus der Kernphysik erhält man, wenn nach einem initialisierenden Reset nur noch gelesen wird (Fig. 4b). Alle Speicherzellen, welche einmal durch Lichteinfluss gekippt wurden, bleiben in diesem Zustand. Auf diese Art lässt sich die abgebildete Spur eines oder mehrerer heller Objekte einfrieren.

4.4 Grauwertsensor:

Mit etwas zusätzlichem elektronischem Aufwand können auch Grauwerte dargestellt werden. Durch Verändern der Integrationszeit lässt sich die Empfindlichkeit steuern. Für jedes Sensorelement wird die Integrationszeit ermittelt, bei der sein Zustand kippt. Die Lichtintensität ist dann umgekehrt proportional zu dieser Integrationszeit. Selbstverständlich geht die Grauwertmessung auf Kosten der Zeit und kann je nach erforderlicher Auflösung in der Grössenordnung von Sekunden liegen.

5. Anwendungen

Anwendungen des dynamischen RAM als Flächensensor finden sich in der Positionserfassung, Flächenvermessung, Spurverfolgung, als Lesegerät usw. Die Möglichkeit des Random Access ergibt ein weiteres Anwendungsfeld.

Als Grauwertsensor sind Anwendungen im Slow-Scan-Television-Amateursektor denkbar. Da der Sensor billig ist, kann er auch bloss als Linear-Array verwendet werden. Es wird dann nur eine Zeile des Sensors ausgelesen. Das Hauptanwendungsgebiet liegt bei der Positionserfassung, so z.B. bei der linearen Vermessung, der Fliessbandkontrolle, der Distanzmessung, der Füllstandsmessung und der Robotik.

Soll die Parallelverschiebung einer geraden Kante mit grösserer Genauigkeit vermessen werden, so lässt sich dies gemäss Figur 5 tun. Es wird nicht nur eine Zeile ausgelesen, sondern durch Drehen des Sensors um den Winkel α der ganze Array ausgenützt. Man erhält auf diese Art eine M-mal verbesserte Auflösung, falls das Messobjekt seinen Winkel bezüglich der Messrichtung nicht verändert.

Neben den obgenannten kommen alle Anwendungen in Frage, bei denen nur Hell-Dunkel-Informationen von Interesse sind und bei denen genügend Licht vorhanden ist. Zuerst ist jedoch in einer Wirtschaftlichkeitsrechnung zu untersuchen, ob durch Einsatz eines spezifischen Bildsensors und einer leistungsärmeren Lichtquelle nicht längerfristig Kosten und Energie eingespart werden könnten.

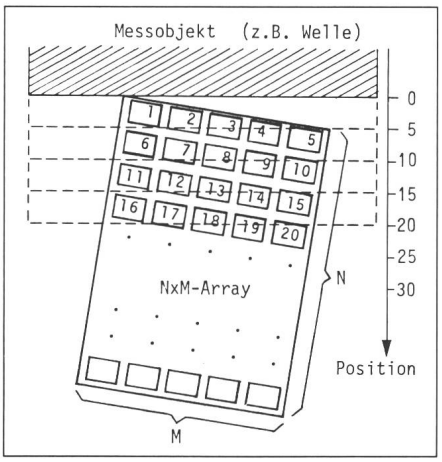

Fig. 5 Lineare Positionsmessung
mit erhöhter Auflösung (Prinzip des Nonius)

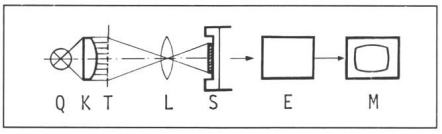

Fig. 6 Optischer Aufbau zum Abtasten von Transparentfolien
Q Lampe
K Kondensor
T Transparentvorlage
L Linse
S Sensor (vergrössert dargestellt)
E Elektronik
M Monitor

6. Resultate

In Figur 6 ist der optische Aufbau zum Abtasten von Transparentfolien dargestellt. Die in Figur 7 gezeigten Aufnahmen sind Resultate, welche mit einem 16-kbit-RAM Motorola MCM 4116L20 als Sensor erhalten wurden. Nicht alle dynamischen RAM der verschiedenen Hersteller eignen sich gleich gut zu Bildsensorzwecken. Mit 256-kbit-RAM wäre natürlich eine wesentlich bessere optische Auflösung zu erreichen.

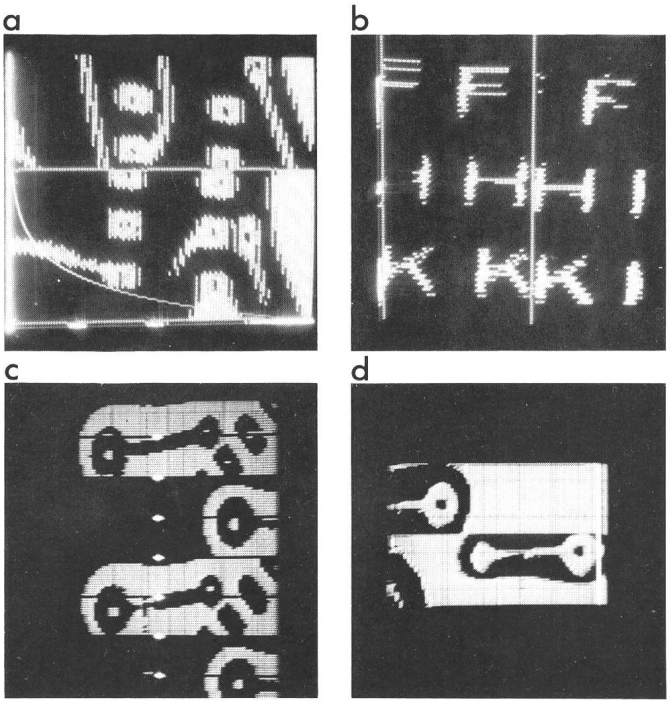

Fig. 7
Bildmuster mit 16-kbit-DRAM

Vorlagen:
Strichfilm-Transparentfolie eines Printplattenlayouts sowie eines Buchstabenfeldes

a, b:
ohne vollständiges Address-Descrambling, es sind beide Speicherhälften (beidseitig des weissen Strichs) dargestellt (2×64×128 Bildpunkte)

c, d:
mit vollständigem Address-Descrambling, es ist nur eine Speicherhälfte dargestellt (64×128 Bildpunkte)

a, b, d:
negative Darstellung (dunkles Objekt → helles Bild)

c:
positive Darstellung (helles Objekt → helles Bild)

7. Schlussbemerkungen

Es muss nochmals betont werden, dass der vorgeschlagene Sensor nicht als vollwertiger Ersatz für andere Halbleiterbildsensoren zu betrachten ist. Es finden sich jedoch viele Anwendungen in der Positionserfassung, wo sich das dynamische RAM als Sensor durchaus eignet. Vor allem in Kombination mit der zusätzlichen On-Chip-Speichermöglichkeit können sich elegante Lösungen ergeben.

Literatur

[1] *S. Ciarcia:* Build the micro D-Cam solid-state video camera. Byte 8(1983)9, p. 20...31, + No 10, p. 67...86.