

sCMOS – Die eierlegende Wollmilchsau der Bildsensorik?

Neue Joint-Venture Technologie ermöglicht eine Fülle von neuen wissenschaftlichen Kameraanwendungen

Scientific CMOS oder kurz sCMOS wurde 2009 während der Laser World of Photonics Messe in München von den Firmen Andor Technology, Fairchild Imaging und PCO AG als neue Technologie für Bildsensoren vorgestellt. Wie üblich werden neue Entwicklungen als Fortschritt und viel besser als existierende Technologien angepriesen – doch ist diese Technologie wirklich besser? Warum schließen sich Firmen, die ansonsten Mitbewerber im Markt der hochwertigen Kamerasysteme sind, zusammen, um eine solche Technologie zu entwickeln?

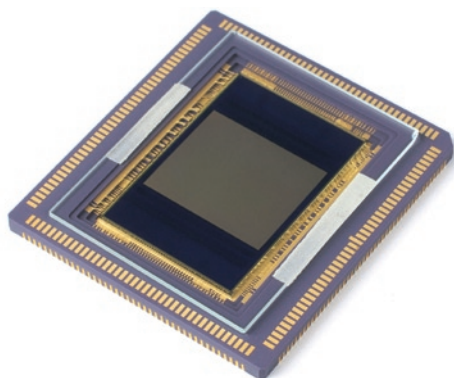


ABB. 1: Erster Prototyp eines Bildsensors in sCMOS Technologie

Bildsensoren für wissenschaftliche Anwendungen heutzutage

Alle beteiligten Firmen kennen sich bestens mit den hohen Anforderungen, die bei wissenschaftlichen Kameraanwendungen herrschen, aus, da sie seit Langem verschiedenste Kamerasysteme für diesen Markt im Programm haben. Wenn man sich die unterschiedlichen Anforderungen und Wünsche anschaut, wird sehr schnell klar, dass sie kaum mit den Verbrauchermarkt-Produkten erfüllt werden können. Ein paar Beispiele, auch in wissenschaftlichen Anwendungen wird mehr Auflösung gebraucht, d.h. mehr als die bisher üblichen 1,3 Megapixel. Sowohl in Fotoapparaten als auch in

Handy-Kameras sind schon lange 5–12 Megapixel üblich. Nimmt man nun die Handy-Kameras so haben sie, damit möglichst wenig Platz verbraucht wird und viele Bildsensoren aus einem Wafer herauspringen, sehr kleine Bildpunkte, wie z.B. $1.6 \mu\text{m} \times 1.6 \mu\text{m}$ Kantenlänge. Von daher ist die maximale Ladungsträgermenge, die dort gesammelt werden kann und das elektrische Gegenstück zum einfallenden Licht darstellt, ebenfalls klein. Diese maximale Ladungsträgermenge zusammen mit dem Ausleserauschen definiert aber die Dynamik des Bildsensors, d.h. die Fähigkeit Hell-Dunkel-Unterschiede in demselben Bild darzustellen. In den meisten Fällen ergibt das dann gerade noch 6–8 Bit Dynamik, also 64–256 Helligkeitsstufen, die man unterscheiden kann. Dies ist für farbenfrohe Bilder noch ausreichend, für Messzwecke jedoch ungeeignet.

Es ist durchaus so, dass die digitalen Kameras für professionellen Einsatz, beispielsweise Spiegelreflex-Kameras, auch sehr gute Bildsensoren verwenden. Diese sind aber größtenteils von den jeweiligen Firmen oder für sie entwickelt worden und auf dem freien Markt nicht verfügbar, oder wegen z.B. eingeschränkter Lebensdauer für wissenschaftliche Anwendungen nicht geeignet. Da technologische Entwicklungen in diesem Bereich mit großen Bildsensoren kostspielig und risikobehaftet sind, haben sich 2008 die drei Firmen Andor Technology, Fairchild Imaging und PCO AG zusammengefunden, um das Risiko zu teilen und gemeinsam in die neue Technologie zu investieren.

Verbesserungswünsche für wissenschaftliche Anwendungen

Da die wissenschaftlichen Anwendungen sehr vielfältig sind gibt es aus diesen Bereichen auch die verschiedensten Wünsche, was eine Verbesserung der existierenden Kamerasysteme angeht. In der Übersicht sind es:

- höhere Auflösung (z.B. für ein größeres Sichtfeld, Mikroskopie)

DER AUTOR

GERHARD HOLST

Gerhard Holst studierte Nachrichtentechnik an der RWTH Aachen. Er promovierte an der Universität Dortmund und dem MPI für Systemphysiologie über einen neuartigen optisch chemischen Sensor und dessen Mess-System für die Medizintechnik. Nach 7 Jahren in der Mikrosensorforschungsgruppe des MPI für Marine Mikrobiologie, Bremen, wechselte er zur PCO AG. Dort leitet er die Wissenschafts- und Forschungsabteilung.



Dr. Gerhard Holst
PCO AG
Donaupark 11
93309 Kelheim, Germany
Tel.: +49 (0)9441 2005 36
Fax: +49 (0)9441 2005 20
E-Mail: gerhard.holst@pco.de
Website: www.pco.de

- höhere Bildrate bei hoher Auflösung (z.B. Transportprozesse über Zellmembranen)
- höhere Empfindlichkeit und geringes Ausleserauschen (z.B. Spektroskopie)
- hohe Dynamik für große Helligkeitsunterschiede im Bild oder zwischen Bildern einer Serie (z.B. Mikroskopie, Bewegungsanalyse etc.)

Die höhere Auflösung ist ein Vorteil am Mikroskop, weil die Proben dann mit geringeren Vergrößerungsfaktoren betrachtet werden können und trotzdem die Bildausschnitte der einzelnen Zellen mit hinreichender Genauigkeit untersucht werden können.

Dadurch lassen sich z. B. schneller mehr Zellen untersuchen. Viele Prozesse, die wissenschaftlich analysiert werden, laufen schnell ab, so dass Bildraten von 50–100 Bildern/s, die noch nicht zu Hochgeschwindigkeitsanwendungen gerechnet werden, häufig wünschenswert sind. Herzschlag synchronisierte oder korrelierende Vorgänge fallen in diesen Bereich. Bei vielen Anwendungen, die mit dem Einsatz von Biomarkern verbunden sind, sei es in der Forschung am Mikroskop, oder in der Pharma-Industrie bei der vergleichenden Untersuchung von Substanzen mit zahlreichen Mikro- oder Nano-Behältern, sind die Lichtsignale sehr schwach, was sehr empfindliche Bildsensoren und rauscharme Kamerasysteme erfordert. Die Im-Bild-Dynamik ist immer und überall von der Mikroskopie bis hin zur Strömungsmesstechnik ein Thema, da sonst mehrere Aufnahmen gemacht werden müssten, um das Bild auswerten zu können.

Zusätzlich dürfen die Bildsensoren nicht zu groß werden, da einerseits die optische Abbildung mit erhältlichen Objektiven oder Linsensystemen erschwert ist, und andererseits mit zunehmender Chip-Fläche auch die Verluste bei der Herstellung steigen, was den Bildsensor sehr verteuert.

Das gibt es schon, oder?

Betrachtet man jede einzelne dieser Anforderungen, so stellt man bei einem Blick auf das Angebot von Kamerasystemen für wissenschaftliche Anwendungen fest, dass es Bildsensoren und auch Kameras gibt, die einzelne Anforderungen erfüllen. Hohe Auflösung, da gibt es schon einige CCD-Bildsensoren mit 2048 x 2048 Pixeln und mehr, mit akzeptablen Ausleserauswerten von 9 Elektronen. Allerdings schaffen diese selbst bei schneller Ansteuerung gerade 15 Bilder/s (und dies auch nur mit 14 Elektronen Ausleserauschen und 12–14 Bit Dynamik). Es gibt auch sehr schnelle CMOS-Bildsensoren für Zeitlupen-Anwendungen mit 1280 x 1024 Pixeln, die 500 Bilder/s aufnehmen, aber leider nur mit einem Quantenwirkungsgrad < 50%, ca. 18 Elektronen Ausleserauschen und 10 Bit Dynamik. Es sind auch emCCD Bildsensoren mit 1 Megapixel Auflösung verfügbar, die durch die Verstärkung auf dem Chip ein vernachlässigbares Ausleserauschen und auch einen guten Quantenwirkungsgrad von ca. 60% haben. Allerdings haben sie eine reduzierte Dynamik auf Grund der Verstärkung und allenfalls Bildraten von 12–30 Bildern/s (mehr Auflösung ist nicht in Sicht). Zudem sind diese Bildsensoren nicht langzeitstabil, da sich die Verstärkungskennlinie über die Zeit verändert.

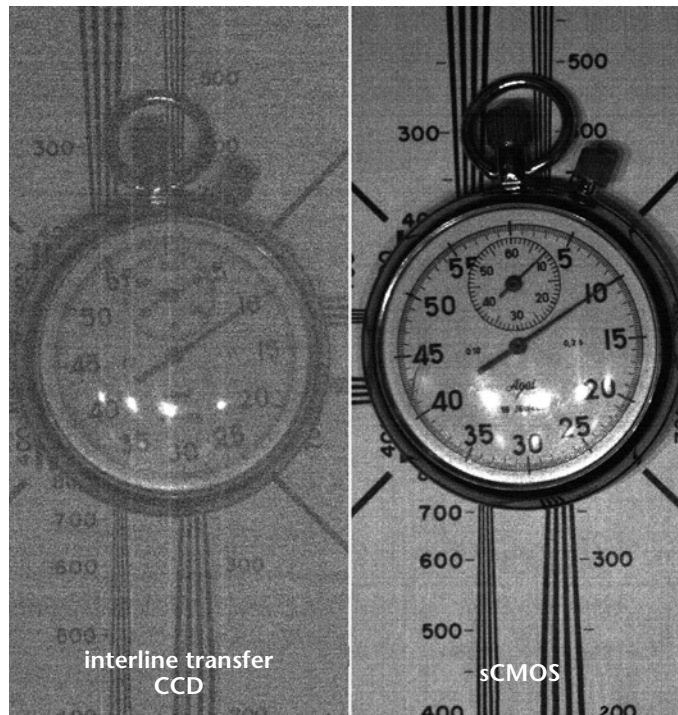


ABB. 2: Vergleich zwischen einer gekühlten CCD Kamera für wissenschaftliche Zwecke und einer Test-Prototypen Kamera mit sCMOS Bildsensor

DIE FIRMA

PCO AG

1987 wurde die PCO AG gegründet mit dem Ziel, schnelle und empfindliche Video-Kameras zu entwickeln, die den speziellen, hohen Anforderungen in wissenschaftlichen Anwendungen gerecht wurden. Mittlerweile umfasst der Produktbereich der PCO AG digitale Kamerasysteme mit hoher Dynamik, hoher Auflösung und niedrigem Rauschen, welche international sowohl in wissenschaftlichen als auch in industriellen Anwendungen eingesetzt werden.

www.pco.de

Demnach gibt es schon alle erforderlichen Technologien, jedoch nicht gemeinsam. Es ist zwar gelungen ein oder zwei Parameter zu optimieren, um eine bestimmte Richtung von Anwendungen zu ermöglichen, aber gleichzeitig geht es bisher immer nur auf Kosten anderer wünschenswerter Parameter. In der Vergangenheit führte dies auch zu der etablierten Antwort auf die Frage: welcher Typ Bildsensor, CCD oder CMOS, ist am Besten geeignet für welche Art von Anwendungen?

Hochgeschwindigkeitsanwendungen, wo es auf hohe Bildraten ankommt, sind eine Domäne der CMOS Bildsensoren, aufgrund ihrer strukturbedingten hochgradig parallelen Signalverarbeitung. Wenn es auf

hohe Bildqualität und rauscharmes Auslesen der Bilder für Niedriglichtanwendungen ankommt, führt kein Weg an CCD Bildsensoren vorbei. Für alle Anforderungen dazwischen wird sich fallweise entweder das eine oder das andere Konzept bewähren.

Scientific CMOS – sCMOS

Diese neue Technologie für CMOS Bildsensoren führt dazu, dass diese etablierte Antwort auf die Frage neu überdacht werden muss. Abgesehen von den im Einzelnen schon beachtlichen Leistungsdaten des in Abbildung 1 zu sehenden Prototypen eines Bildsensors in sCMOS-Technologie:

- Auflösung 2560 x 2160 Pixel
- Quantenwirkungsgrad 60% (FI) und 90% (BI)
- Ausleserauschen < 2 Elektronen (bei 30 Bildern/s) bzw. < 3 Elektronen (bei 100 Bildern/s)
- Dynamik 1 : 16 000 (bei 30 Bildern/s)
- maximale Bildrate bei voller Auflösung 100 Bilder/s
- Pixelgröße 6.5 µm x 6.5 µm

gelang es die Leistungswerte auf einem einzigen Bildsensor zu realisieren. Dies wurde durch eine neuartige Pixelstruktur und ein neu Art der Zusammenfassung, d. h. Chipstruktur, erreicht. Um beispielsweise die hohe Dynamik auch ausnutzen zu können ohne unnötig komplexe Analog-Digital-Wandler auf dem Chip zu integrieren, wird das Pixel-Signal gleichzeitig mit geringer und mit hoher Verstärkung in zwei verschie-

denen 11 Bit-A/D-Wandlern in einen Zahlenwert umgewandelt. Diese beiden Datenströme stehen gleichzeitig zur Verfügung, und können von einem Kamerasystem entsprechend genutzt werden, entweder in dem beide zu einem hochgenauen 16 Bit Datenstrom zusammengesetzt werden oder, um das Datenaufkommen zu reduzieren, wahlweise für hohe Empfindlichkeit oder hohe Aussteuerung ausgewertet werden. Die Auflösung verbunden mit der moderaten Pixelgröße ermöglichen vielfältige Mikroskop-Anwendungen bei geringerem Vergrößerungsfaktor und somit größerem Sichtfeld. Das niedrige Ausleserauschen in Verbindung mit Bildraten von 30–100 Bildern/s ist bis jetzt einzigartig.

Doch wie sieht es in einem Vergleich aus. In Abbildung 2 sind zwei Ausschnitte aus realen Aufnahmen zu sehen. Das linke Bild zeigt die Aufnahme mit einer gekühlten CCD Kamera für wissenschaftliche Anwendungen. Der Bildsensor hat 2048 x 2048 Pixel mit einer Größe von 7.4 µm x 7.4 µm und wurde mit 40 MHz angesteuert, um eine Bildrate von 14.7 Bildern/s zu erreichen. Die Kühlung wurde auf +10°C eingestellt und die Belichtungszeit war 1 ms. Das rechte Bild zeigt die Aufnahme mit

einem Vor-Produktions-sCMOS Bildsensor in einem Prototypen-Aufbau mit 2560 x 2160 Pixeln und einer Größe von 6.5 µm x 6.5 µm, der mit 150 MHz angesteuert wurde und 50 Bilder/s erreichte. Dieser Bildsensor hatte außer Umgebungsluft keine aktive Kühlung und wurde mit 1.3 ms belichtet, um den Pixelgrößen Unterschied zu kompensieren. Beide Kameras nahmen eine Szene mit einer mechanische Stoppuhr im gleichen Abstand mit den gleichen Objektivten mit gleicher Blende (f = 8) auf. Die Szene war in einem lichtdichten Kasten unter kontrollierter schwacher LED Beleuchtung. Die Aussteuerung war schwach (< 200 counts) und neben der deutlich schlechteren Bildqualität der CCD Kamera ist trotz des schnellen Auslesens eine unvorteilhafte Eigenschaft von CCD Bildsensoren zu erkennen – Smear. Die Reflexionen der LEDs im Stoppuhr Glas erzeugen durch das große Signal beim Auslesen des CCDs für Zusatzsignal, was sich im Bild durch Längsstreifen bemerkbar macht. Der sCMOS Bildsensor zeigt keinerlei Smear Effekte. Außerdem ist eine höhere Dynamik im Bild zu erkennen, welche hauptsächlich durch das extrem niedrige Ausleserauschen zustande kommt.

Antwort auf die Frage


Nun wird man sehen, welche Kamerasysteme bzw. Kameras daraus entstehen. Auf jeden Fall rücken die sCMOS Bildsensoren dem Ideal der „eierlegenden Wollmilchsau“ in der Bildsensorik sehr nahe, und werden, so lässt sich auf Grund der bisherigen Mess-Daten vermuten, eine Fülle von Anwendungen ermöglichen.

Weiterführende Links

- www.scmos.com
- www.andor.com
- www.fairchildimaging.com
- www.pco.de



Components - Fiberoptics - Collimated Products



NEU
bei IMM

Duplex
&
Triplex
Module

IMM Photonics GmbH
Ohmstrasse 4
85716 Unterschleißheim
Tel.: +49 89 321 412 0
Fax: +49 89 321 412 11
sales@imm-photonics.de

IMM Photonics GmbH www.imm-photonics.de