

## PHOTO DETECTOR IC

# PHOTO DETECTOR IC FOR BLU-RAY DISC DRIVES WITH 12 FOLD READ/WRITE SPEED



**„To write and read a complete Blu-ray Disc within a few minutes, high speed drives with consequently very fast electronic components are required.“**

**Figure 1: Image comparison DVD (left) and Blu-ray Disc (right) – high-definition images show more details**

In 2008 the leading Hollywood film studios selected Blu-ray Disc as their single distribution media for commercial high-definition (HD) video films. Since then, the Blu-ray Disc system has established itself worldwide as the successor of the DVD in the consumer electronics market. Just like DVDs, Blu-ray Discs are read optically using a focused laser beam; however, the Blu-ray Disc system uses blue laser light rather than red light for higher disc capacity – almost five to ten times the capacity of a DVD. The range of available media types for both systems is comparable: the most significant media types for Blu-ray Discs are the BD-ROM format, mainly used as read-only distribution media for commercial HD video of up to four hours of playing time, and the BD-RW format as rewritable media for consumer use.

Due to their high storage capacity of up to 50 gigabytes, rewritable Blu-ray Discs are of particular interest as low-cost media for archiving computer data. However, recording such amounts of data should take much less time than playing back a movie. This requires high-speed drives that are capable of writing and reading a complete Blu-ray Disc within a few minutes instead of several hours. Consequently, the electronic components in these drives have to

support data transfer rates in excess of ten times the rate needed for HD video playback.

One of the key components in the read path of the drive electronics is a small chip named PDIC (Photo-detector Integrated Circuit). The PDIC converts the high-frequency laser light pulses reflected by the Blu-ray Disc into electrical signals, from which the stored data can be recovered. In a collaborative industrial research project funded by the State of Thuringia, Germany, IMMS has developed a PDIC that is capable of reading Blu-ray Discs up to 12 times faster than conventional HD video speed – this corresponds to the current maximum possible rotation speed of Blu-ray Disc drives. The particular challenge faced in the development of the PDIC was to meet the extreme bandwidth requirements for the signal amplifier chain (greater than 300 MHz) while minimizing noise to preserve a good signal quality.

### IMPLEMENTATION OF THE PDIC

The 12x Blu-ray Disc PDIC D3001 developed by IMMS processes the light signal received by a photodiode array in a multistage amplifier chain. From a number of possible system architectures, a four-stage

amplifier chain was selected. Its first two stages consist of current amplifiers for the photodiode currents. Compared to an architecture based on transimpedance amplifiers, the four-stage architecture allows the various gain settings required by the drive manufacturers to be configured very efficiently during operation by switching the current amplifier gains. These gain settings as well as the different operating modes of the PDIC can be configured electronically over an I<sup>2</sup>C-interface.

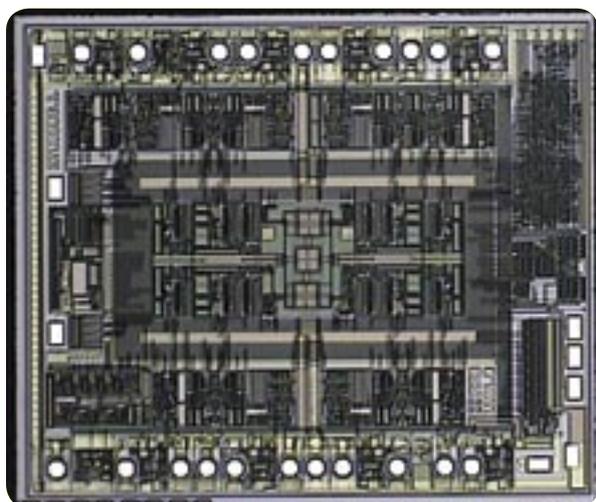


Figure 2: Chip photo of the PDIC

In order to ensure a low offset error of the amplifier chain ( $< 10$  mV) despite the expected parameter variations from the semiconductor manufacturing process, chip-internal trimming circuitry was included. In addition, the trimming circuitry allows the bias current of the PDIC and its gain to be adjusted electrically. An integrated DfT circuit (design for test) enables an easy and fast production test. To reduce RF signal distortion on the flex cable usually attached to the PDIC, all fast outputs were matched to the cable impedance of  $110 \Omega$ . The chip layout was created using a systematic star wiring approach for the power supplies of the individual blocks. Its performance was verified using an accurate extraction of the parasitic resistances and

capacitances. The PDIC D3001 was implemented on a chip area of  $5.72 \text{ mm}^2$  using the XB06PIN process from X-FAB Semiconductor Foundries AG.

Figure 2 shows a photograph of the chips produced by the X-FAB. Three four-quadrant detectors are visible in the middle of the photodiodes fields, whereby a single photodiode in each case occupies an area of  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ . The amplifier chain stretches starting from the detector field from the inside to the outside. The output drivers are integrated in the respective pad cell. In the lower area of the photo, the logic for the I<sup>2</sup>C interface and the circuit for trimming and test support (left) are visible. The PDIC is designed for installation in an 18-pin casing.

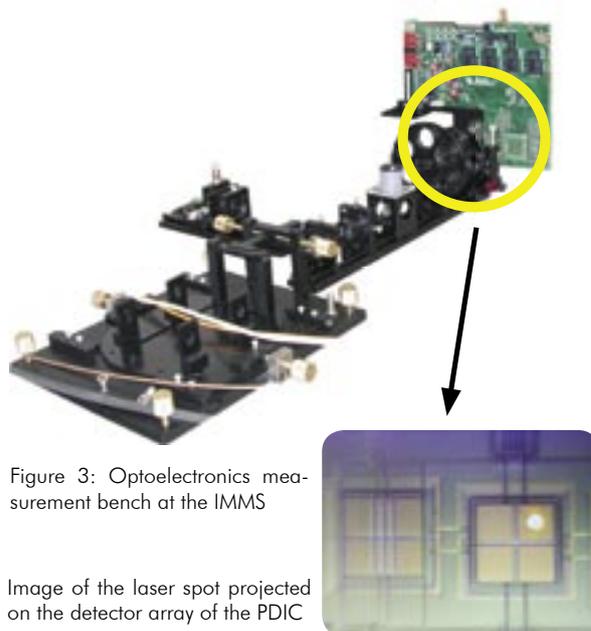


Figure 3: Optoelectronics measurement bench at the IMMS

Image of the laser spot projected on the detector array of the PDIC

## MEASUREMENT SETUP FOR PHOTO DETECTORS

Characterizing the performance of the manufactured PDIC requires measurement instrumentation that permits a fine laser spot with a diameter of 20 microns to be projected onto the photodiode field with a positioning accuracy of less than 1 micron. A new optical measu-

rement bench has been specially developed by IMMS for this purpose. It enables static and dynamic measurements of optoelectronic receiver circuits for signal frequencies up to 1 GHz. The device under test can be positioned automatically under computer control in three dimensions. At the same time, the position of the laser spot on the device under test can be observed with a camera for visual inspection of the test setup. Figure 3 shows the measurement bench and an image of the laser spot projected on the detector array of the PDIC.

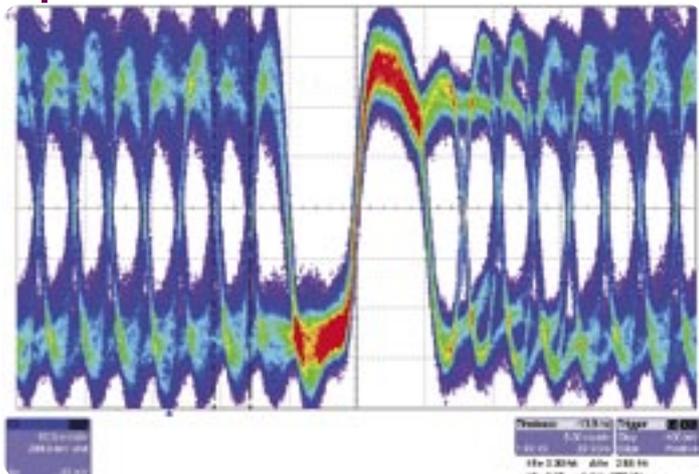


Figure 4: Eye diagram of a Blu-ray Disc-bit pattern (2T14T pattern on the differential output with a time period of 5.2 ns)

## MEASUREMENT RESULTS CONFIRM LEADING-EDGE PERFORMANCE

The dynamic behavior of the PDIC D3001 was measured under industrial test conditions. Figure 4 shows the response of the differential data signal output (RFP-RFN) to a 14-bit pseudo-random pattern sequence modulated onto the laser beam. The selected data patterns represent the typical conditions on a Blu-ray Disc. The minimum pulse width of the pattern is 2.6 ns, corresponding to 12 times the normal speed

of the Blu-ray Disc system. Even in the operating mode with the highest gain, the eye diagram exhibits clear eye openings. The measured values for amplitude noise and jitter are 44 % and 0.6 ns, respectively. Our measurement results demonstrate that the PDIC will be capable of producing output signals of sufficient quality for successful data recovery even in the presence of high noise levels in the optical input signals.

## CONCLUSION AND OUTLOOK

The photodetector IC D3001 is a complex data signal detector for use in high-speed Blu-ray Disc R/W systems, which has been successfully developed and characterized in our Institute. The PDIC D3001 is one of the few comparable ICs worldwide that support 12x Blu-ray Disc speed. It is thus particularly suitable for use in fast computer disk drives for data archiving. Through its modular structure, the layout is easily adaptable to other specifications regarding the detector array or the set of operating modes.

## ACKNOWLEDGMENTS

The work presented here was carried out within the collaborative industrial research project "Modeling and optimization of photodiodes and DVD front-end amplifier circuits" under project no. 2006 VF 0046, grant no. 2006 FE 0395. We thank the State of Thuringia and the Thüringer Aufbaubank for their support.

Dipl.-Ing. Holger Pleß, Project Manager  
Optoelectronics, Microelectronic Circuit Design,  
holger.pless@imms.de

## PDIC FÜR BLU-RAY-DISC-LAUFWERKE MIT 12-FACHER SCHREIB- UND LESEGESCHWINDIGKEIT



**„Um eine Blu-ray Disc innerhalb weniger Minuten beschreiben und wieder einlesen zu können, bedarf es sehr schneller Laufwerke mit entsprechend schneller Elektronik.“**

**Abbildung 1: Bildvergleich DVD (links) und Blu-ray-Disc (rechts) – hochauflösende Bilder zeigen mehr Details**

Seit der Entscheidung der führenden Hollywood-Filmstudios aus dem Jahr 2008, Filme im hochauflösenden HD-Format zukünftig ausschließlich auf dem Speichermedium Blu-ray-Disc anzubieten, hat sich die Blu-ray-Disc als Nachfolgerin der DVD weltweit im Markt für Unterhaltungselektronik etabliert. Wie DVDs werden auch Blu-ray-Discs auf optischem Wege unter Verwendung eines fokussierten Laserstrahls ausgelesen, allerdings arbeitet das Blu-ray-Disc-System wegen der damit möglichen höheren Speicherdichte – das fast Fünf- bis Zehnfache einer DVD – nun mit kurzwelligem blauem Laserlicht statt mit rotem. Vergleichbar ist die Auswahl an verfügbaren Medientypen für beide Systeme; meist bedeutend für Blu-ray-Discs sind dabei die Formate BD-ROM als Festwertspeicher für HD-Kaufvideos von bis zu vier Stunden Abspieldauer und BD-RW als wiederbeschreibbarer Datenträger.

Wiederbeschreibbare Blu-ray-Discs sind wegen ihrer hohen Speicherkapazität von bis zu 50 Gigabyte besonders als Medien für die Archivierung von Computerdaten interessant. Die Aufzeichnung solcher Datenmengen soll aber in deutlich kürzerer Zeit erfolgen als die Wiedergabe eines Spielfilms. Um eine Blu-ray-Disc innerhalb weniger Minuten – statt mehrerer Stunden – beschreiben und wieder einlesen zu können, bedarf es sehr schneller Laufwerke mit entsprechend schneller Elektronik. Diese muss Datentransferraten

ermöglichen, die mindestens um das Zehnfache über der für die HD-Filmwiedergabe erforderlichen Geschwindigkeit liegen.

Eines der Elemente in der Laufwerkelektronik, auf das es hierbei entscheidend ankommt, ist ein kleiner Chip namens PDIC (Photo Detector Integrated Circuit). Seine Aufgabe besteht darin, die von der Blu-ray-Disc reflektierten, hochfrequenten Laserlichtpulse in elektrische Spannungssignale umzuwandeln, aus denen anschließend die gespeicherten Daten zurückerkannt werden können. Am IMMS wurde nun im Rahmen eines vom Land Thüringen geförderten industriellen Verbundforschungsprojekts ein PDIC entwickelt, der das Auslesen von Blu-ray-Discs mit bis zu 12-facher HD-Geschwindigkeit erlaubt – dies entspricht der zurzeit maximal möglichen Rotationsgeschwindigkeit von Blu-ray-Disc-Laufwerken. Die besondere Herausforderung in der Entwicklung des PDIC bestanden dabei in der Erfüllung der sehr hohen Anforderungen an die Bandbreite der Signalverstärkerkette (mindestens 300 MHz) bei gleichzeitiger Minimierung des Rauschens zum Erhalt einer guten Signalqualität.

### REALISIERUNG DES PDIC

Im 12x-Blu-ray-Disc-PDIC D3001 des IMMS wird das von einem Fotodiodenfeld empfangene Lichtsignal in

einer mehrstufigen Verstärkerkette aufbereitet. Aus einer Reihe möglicher Systemarchitekturen wurde eine vierstufige Verstärkerkette ausgewählt, deren erste zwei Stufen aus Stromverstärkern für den Fotodiodenstrom bestehen. Im Vergleich mit einer auf Transimpedanzverstärkern basierenden Architektur lassen sich mit Hilfe der Stromverstärker sehr vorteilhaft die von den Laufwerksherstellern geforderten Empfindlichkeitsstufen (gain modes) während des laufenden Betriebs einstellen. Diese Verstärkungsfaktoren sowie die unterschiedlichen Betriebsmodi des PDIC können über eine I<sup>2</sup>C-Schnittstelle konfiguriert werden.

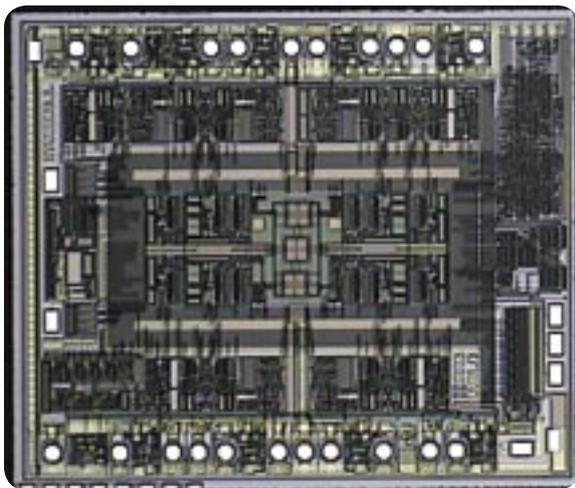


Abbildung 2: Chipfoto des PDIC

Um trotz der aus der Halbleiterfertigung zu erwartenden Prozessparameterschwankungen einen geringen Offset-Fehler der Verstärkerkette ( $< 10$  mV) sicher zu stellen, wurde eine chip-interne Trimmung vorgesehen. Damit sind außerdem sowohl der Biasstrom des PDIC sowie die Verstärkung nachträglich elektrisch abgleichbar. Für einen einfachen und schnellen Produktionstest sorgt eine integrierte DfT-Schaltung (Design for Test). Um die Datensignale verzerrungsarm über das am Ausgang des PDIC üblicherweise angeschlossene Flex-Kabel übertragen zu können, wurde an allen schnellen Ausgängen eine Anpassung an

dessen Wellenwiderstand von  $110 \Omega$  vorgenommen. Bei der Erstellung des Layouts wurde auf eine systematische Sternverdrahtung für die Spannungsversorgung der einzelnen Blöcke sowie auf eine korrekte Extraktion der parasitären Widerstände und Kapazitäten geachtet. Der gesamte PDIC D3001 wurde auf einer Chip-Fläche von  $5,72 \text{ mm}^2$  unter Verwendung des Prozesses XB06PIN der X-FAB Semiconductor Foundries AG realisiert.

Abbildung 2 zeigt ein Foto des von der X-FAB hergestellten Chips. In der Mitte sind die Fotodiodenfelder mit drei Vier-Quadranten-Detektoren sichtbar, wobei eine einzelne Fotodiode jeweils eine Fläche von  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$  einnimmt. Die Verstärkerkette erstreckt sich ausgehend vom Detektorfeld von innen nach außen.

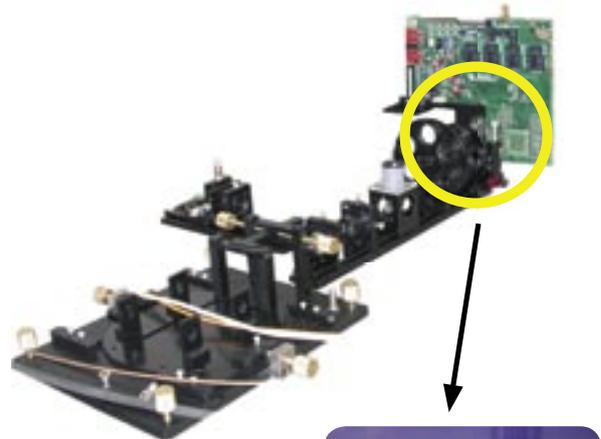
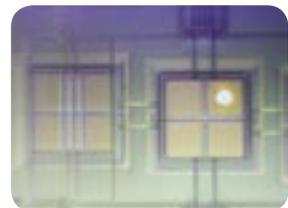


Abbildung 3: Messplatz des IMMS für optoelektronische Aufbauten

Laser bestrahltes Fotodiodenfeld des PDIC



Die Ausgangstreiber sind in die jeweiligen Padzellen integriert. Im unteren Bereich des Fotos sind die Logik für die I<sup>2</sup>C-Schnittstelle und die Schaltung zur Trimmung und Testunterstützung (links) erkennbar. Der PDIC ist für den Einbau in ein 18-poliges Gehäuse vorgesehen.

## MESSPLATZ FÜR FOTODETEKTOREN

Um den gefertigten PDIC messtechnisch charakterisieren zu können, ist eine Messapparatur erforderlich, mit der ein feiner Laserlichtfleck mit einem Durchmesser von  $20\ \mu\text{m}$  mikrometergenau auf dem Fotodiodenfeld positioniert werden kann. Hierzu wurde am IMMS speziell ein neuer Messplatz aufgebaut. Er ermöglicht statische und dynamische Messungen an optoelektronischen Empfängerschaltungen bis zu einer Signalfrequenz von ca. 1 GHz. Dabei ist das Untersuchungsobjekt computergesteuert in allen drei Achsen positionierbar. Gleichzeitig kann die Position des Laserstrahls auf dem Messobjekt zur optischen Kontrolle mit einer Kamera erfasst werden. Abbildung 3 zeigt den Messplatz sowie das vom Laser bestrahlte Fotodiodenfeld des PDIC.

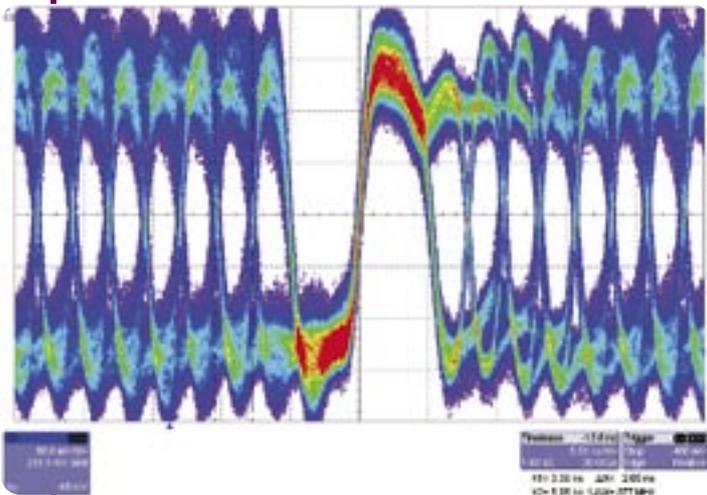


Abbildung 4: Augendiagramm eines Blu-ray-Disc-Bitmusters (2T14T-Muster) am differentiellen Ausgang mit einer Periodendauer von 5,2 ns)

## MESSERGEBNISSE BEWEISEN ENTWICKLUNGSVORSPRUNG

Abbildung 4 zeigt das Ergebnis einer Messung des dynamischen Verhaltens des PDIC D3001 unter industriellen Testbedingungen. Dargestellt ist die am differentiellen Datensignalausgang (RFP-RFN) des

PDIC gemessene Reaktion auf ein 14-Bit-Pseudo-Random-Pattern, mit dem der Laserstrahl moduliert wurde. Das gewählte Datenmuster bildet die realen Verhältnisse auf einer Blu-ray-Disc nach. Die minimale Pulsweite des Musters beträgt  $2,6\ \text{ns}$ , was der 12-fachen Normal-Geschwindigkeit des Blu-ray-Disc-Systems entspricht. Selbst im Betriebsmodus mit der höchsten Verstärkung ist im gezeigten Augendiagramm eine gute Augenöffnung sichtbar. Das Amplitudenrauschen beträgt ca. 44 Prozent, der Jitter  $0,6\ \text{ns}$ . Das Ergebnis lässt erwarten, dass auch die von einem Blu-ray-Disc-Laufwerk erzeugten, häufig stark verrauschten Lichtsignale noch gut weiterverarbeitet und decodiert werden können.

## FAZIT UND AUSBLICK

Mit dem Fotodetektor-IC D3001 wurde ein komplexer Detektor für Datensignale zur Anwendung in Hochgeschwindigkeits-Blu-ray Disc-Schreib- und Lesesystemen in unserem Institut erfolgreich entwickelt und charakterisiert. Der PDIC D3001 ist einer der wenigen vergleichbaren ICs weltweit, die die 12-fache Blu-ray-Disc-Geschwindigkeit unterstützen. Damit eignet er sich insbesondere für den Einsatz in schnellen Computerlaufwerken zur Datenarchivierung. Durch seinen modularen Aufbau ist der Entwurf sehr einfach an andere Spezifikationen hinsichtlich des Detektorfelds oder der Betriebsmodi anpassbar.

## DANKSAGUNG

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Verbundforschungsprojekts „Modellierung und Optimierung von Fotodioden und DVD-Front-End-Verstärkerschaltungen“ (Verbund-Nr. 2006 VF 0046, Teilprojekt-Nr. 2006 FE 0395) durchgeführt. Wir danken dem Land Thüringen und der Thüringer Aufbaubank für die finanzielle Unterstützung und die Betreuung des Vorhabens.

Dipl.-Ing. Holger Pleß, Projektmanager Optoelektronik, Mikroelektronik, holger.pless@imms.de