

Datenblatt des StressSens-ASIC

Thorsten Hehn, 23.03.2017

Überblick

Beim StressSens-ASIC handelt es sich um ein CMOS-integriertes System zur Messung von mechanischen Spannungen, Kräften, Momenten oder Verformungen. Dieser ASIC wurde ursprünglich für eine Anwendung im kieferorthopädischen Umfeld entwickelt¹. Gegenüber den klassischerweise verwendeten Dehnmessstreifen (DMS) besitzt der StressSens-ASIC folgende Vorteile:

- Durch die Integration von Sensorik, Sensorausleseschaltung und Telemetrieschnittstelle ist der StressSens-ASIC einfach handhabbar und bietet daher eine Kostenersparnis.
- Der StressSens-ASIC ist für drahtlose Energie- und Datenübertragung ausgelegt. Je nach Anwendung ist es aber auch eine drahtgebundene Ankopplung möglich.
- Mehrdimensionale Lastfälle (z.B. Kräfte und Momente im dreidimensionalen Raum) sind bei entsprechender Kalibration ohne schaltungstechnischen Mehraufwand in einem Bauteil abbildbar. Für gleiche Funktionalität wären mehrere DMS notwendig.
- Durch die Funktionsweise ähnlich einem passiven RFID-Transponder ist kein lokaler Energiespeicher (z.B. eine Batterie) notwendig.

Eine mögliche Systemkonfiguration ist in Abbildung 1 gezeigt. Im Sinne eines RFID-Systems fungiert der StressSens-ASIC als passiver Transponder. Ein externer Leser koppelt die für den Betrieb des StressSens-ASICs erforderliche Energie ein und empfängt die ausgesandten Daten, welche ggfs. drahtlos an ein mobiles Endgerät übertragen und visualisiert werden können. Der StressSens-ASIC muss mittels einer Fügenschicht fest mit dem zu überwachenden Werkstück verbunden werden, um eine optimale Stresseinkopplung zu gewährleisten.

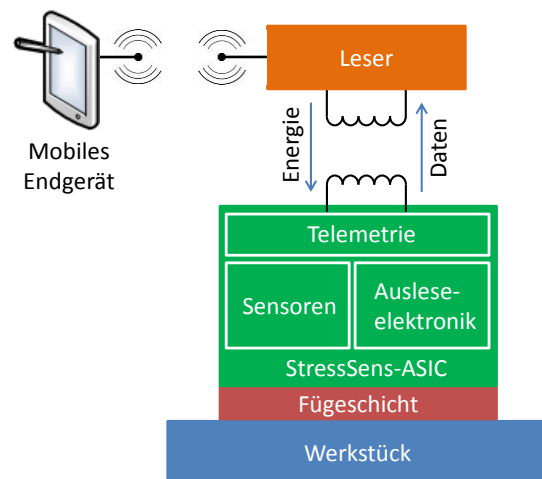


Abbildung 1: Prinzipskizze des StressSens-Systems

Abbildung 2 zeigt ein Chipfoto des StressSens-ASICs. Die unterschiedlichen Komponenten sind mit weißem Rahmen markiert. Deutlich sichtbar sind die über die gesamte Oberfläche verteilten Sensoren und die Ausleseelektronik, bestehend aus control logic, differential difference amplifier (DDA), analog-to-digital converter (ADC) und gain control (GC). Weiterhin sind das telemetrische Interface und die Pufferkondensatoren für eine stabile Versorgungsspannung hervorgehoben.

¹ M. Kuhl *et al.*, "A wireless stress mapping system for orthodontic brackets using CMOS integrated sensors." IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 48, No. 9, 2013, pp. 2191-2202

Die Eckdaten des StressSens-ASICs sind wie folgt:

- Größe: 2,0 x 2,5 x 0,3 mm³
- Technologie: X-FAB XH035 (0,35 μm)

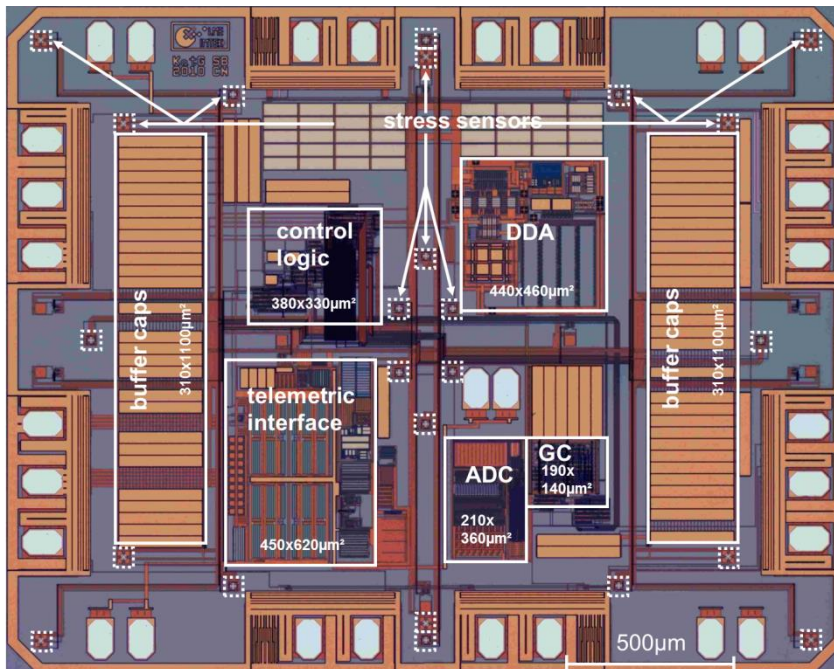


Abbildung 2: Chipfoto des StressSens-ASICs

Das Blockschaltbild des StressSens-ASICs ist in Abbildung 3 gezeigt. Die Sensoren können mittels eines 5-Bit-Multiplexers mit der Ausleseschaltung verbunden werden. Weiterhin können die Sensoren mittels eines weiteren Multiplexers in vier Richtungen versorgt werden. Die Sensorauslese erfolgt durch einen DDA mit variabler Verstärkung zusammen mit einem 10-Bit-SAR-A/D-Wandler. Die Energieversorgung und die Datenkommunikation erfolgt mittels des telemetrischen Interface.

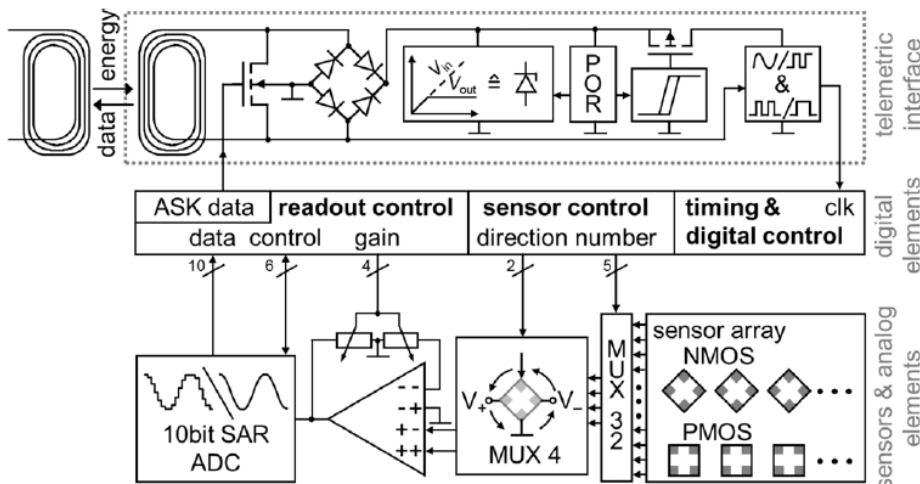


Abbildung 3: Blockschaltbild des StressSens-ASICs.

Telemetrie-Interface

Das Telemetrie-Interface wird sowohl zur Energieeinkopplung als auch zur Datenauskopplung verwendet. Es besteht aus einem Gleichrichter, einem Spannungsbegrenzer, einer Power-on-Reset-Schaltung zum Startup und einer Taktextraktion (siehe auch Abbildung 3).

Im Folgenden sind die Eckdaten des Telemetrie-Interface aufgezählt:

- Trägerfrequenz: 13,56 MHz (für RFID-Systeme freigegeben)
- Modulationsfrequenz: 847,5 kHz
- Modulationsart: Amplitude Shift Keying (ASK)
- Leistungsverbrauch während Telemetrie-Startup: 45 mW
- Benötigte eingekoppelte Leistung nach Startup: 17 mW
- Durchschnittlicher Leistungsverbrauch ohne Telemetrie: 1,75 mW
- Versorgungsspannung: 3,19 V

Sensorelemente

Im vorliegenden StressSens-ASIC werden ausschließlich Sensoren für die Erfassung von (Differenzen von) Normalspannungen verwendet. Hierfür sind jeweils vier PMOS-FETs in einer Wheatstone-Brücke verschaltet (siehe Abbildung 4).

Im Folgenden sind die Eckdaten der Sensorik aufgezählt:

- Prinzip: Piezoresistive PMOS-FETs
- Messgröße: Differenzen von Normalspannungen ($\sigma_{xx} - \sigma_{yy}$)
- Konfiguration: Wheatstone-Brücke (siehe Abbildung 4)
- Anzahl Sensoren: 32
- Offsetspannung ohne mechanischem Stress: $8,62 \pm 3,02$ mV
- Empfindlichkeit der PMOS-Sensoren: $921 \pm 4,74$ $\mu\text{V}/\text{MPa}$ (siehe Abbildung 6)
- Rauschverhalten: $8,4$ $\mu\text{V}_{\text{rms}} \equiv 9,1$ kPa (siehe Abbildung 5)

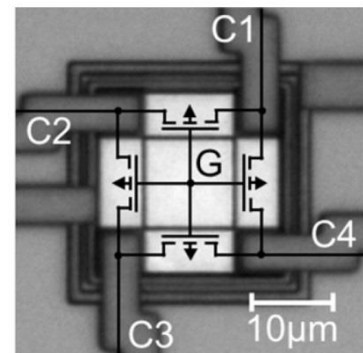


Abbildung 4: Mikroskopaufnahme der PMOS-Sensoren mit skizzierter Transistor-Verschaltung

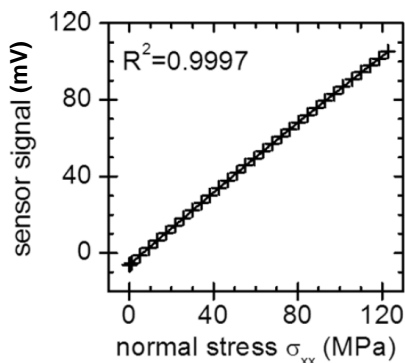


Abbildung 6: Empfindlichkeit der PMOS-Sensoren.

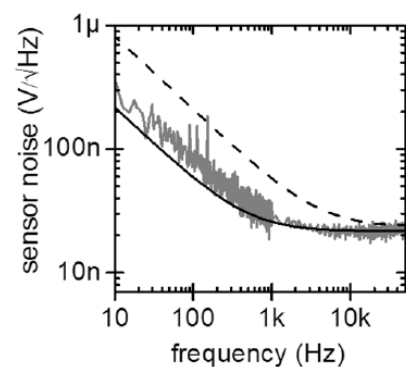


Abbildung 5: Rauschverhalten der PMOS-Sensoren

Ausleseelektronik

Die Ausleseelektronik besteht aus dem DDA mit variabler Verstärkung, dem 10-Bit-SAR-A/D-Wandler und dem gain controller (siehe Abbildung 3). Mit Hilfe eines binären Suchalgorithmus bestimmt der gain controller die maximale Verstärkung des DDA in Bezug auf seinen linearen Aussteuerungsbereich.

Für die Auslese der Sensoren wird das Discrete Current Switching (DCS)-Verfahren eingesetzt, welches nicht-mechanische Einflussgrößen wie Temperaturgradienten und Magnetfelder kompensieren kann. Hierfür wird jede Sensor-Wheatstone-Brücke nacheinander in den vier möglichen Richtungen mit Spannung versorgt und entsprechend ausgelesen.

Die Eckdaten der Ausleseelektronik sind im Folgenden aufgezählt:

- Mechanismus der Sensorauslese: Discrete Current Switching (DCS)
- Verstärkung des Sensorsignals
 - Typ: Differential Difference Amplifier (DDA)
 - Linearität: $THD_{\%} < 2\%$ (siehe Abbildung 7)
 - Verstärkungsfaktor: 1 ... 271
- Abtastdauer: 1,25 ms pro Sensorrichtung \equiv 5 ms pro Sensor \equiv 160 ms pro Systemzyklus
- Datenübertragungsrate: 27,1 kBit/s
- A/D-Wandlung
 - Prinzip: Sukzessive Approximation Register (SAR)
 - Auflösung: 10 Bit \equiv 10 μ V ... 2,71 mV \equiv 11 kPa ... 3,00 MPa (Verstärkung 1 ... 271)
- Rauschen am Ausgang des A/D-Wandlers: 1,9 LSB \equiv 6,1 mV @ VDD = 3,19 V

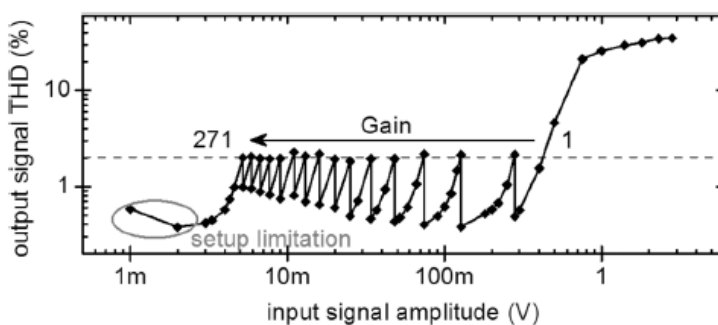


Abbildung 7: Linearität des DDA