

Verbesserte Fehleranalyse in der Chipentwicklung

ÖKO-QUANT – Ökobilanzierung von Quantensensor-Technologie in der Halbleiterfertigung

1 Projektinformationen

Projektlaufzeit | 01.06.2025 – 30.11.2025

Projektpartner |

- Quantumdiamonds GmbH
- Fraunhofer EMFT
- Fraunhofer IZM

2 Technologie & Anwendungsfelder

Die Halbleiterfertigung hat aufgrund des hohen Energiebedarfs und dem Einsatz von extrem klimawirksamen Gasen einen erheblichen CO₂-Fußabdruck von ca. 1 Tonne CO₂e pro Wafer. Durch eine bessere Ausbeute (Yield), die auf einer effizienten Fehleranalyse beruht, kann der Fußabdruck signifikant gesenkt werden. Und aufgrund der wachsenden Komplexität der einzelnen Chips, aber auch der Packages, wird die klassische Fehleranalyse zunehmend wichtiger und gleichzeitig herausfordernder.

Das Quantendiamant-Mikroskop (QDM) bildet Ströme in Mikrochips in 2D und 3D ab, indem es Magnetfelder per Zeeman-Splitting detektiert. Dadurch lassen sich Kurzschlüsse, Leckströme und andere Fehler lokalisieren, die für bisher verwendete optische und thermische Methoden "unsichtbar" sind. Durch die verbesserte Analyse können zunächst einzelne Chips im Fehleranalyse-Labor (*In-Lab*) getestet werden, später dann ganze Wafer in der Produktion (*In-Fab*).

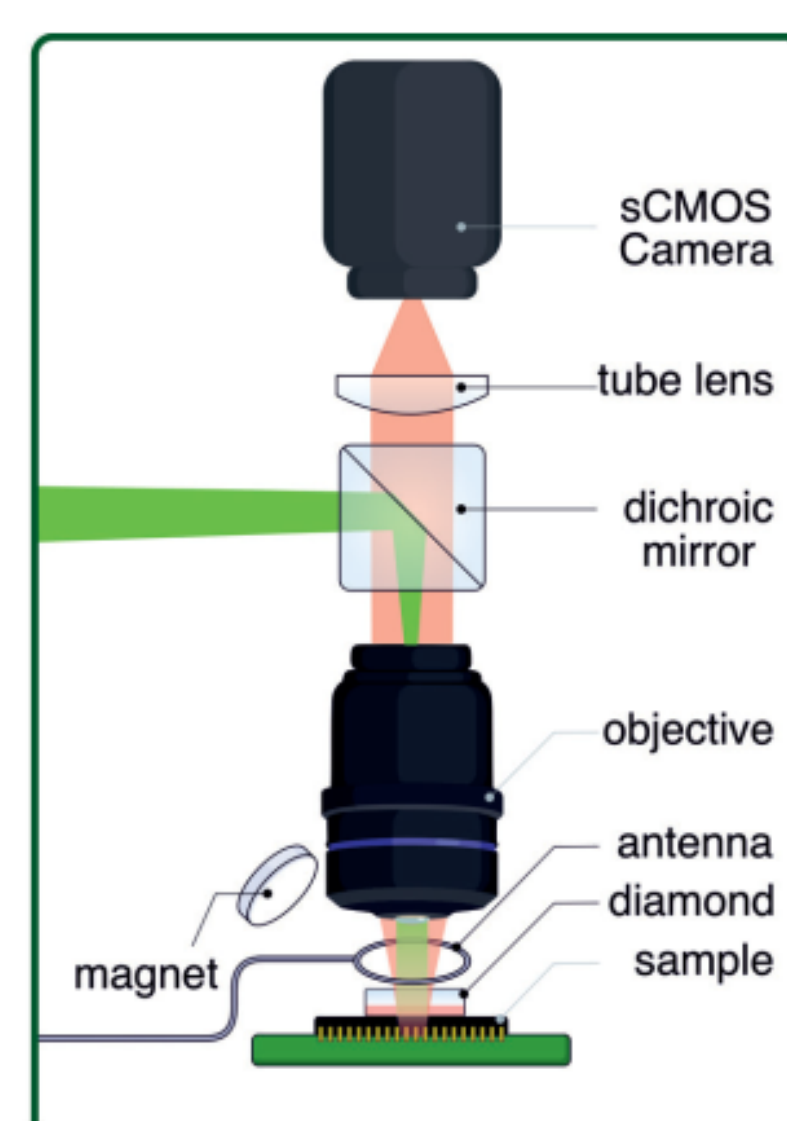


Abbildung 1: Funktionsprinzip des QDM

3 Bisherige Ergebnisse & Erkenntnisse

Eine Sachbilanz für das Messgerät wurde aufgestellt und daraus ein vorläufiger Fußabdruck der Herstellung abgeschätzt. Außerdem wurde die Leistung des Geräts in verschiedenen Modi gemessen und darauf basierend ebenfalls der Fußabdruck der Nutzung berechnet (bei Nutzungsdauer von 8 Jahren). Im Vergleich ergibt sich eine starke Dominanz der Nutzungsphase.

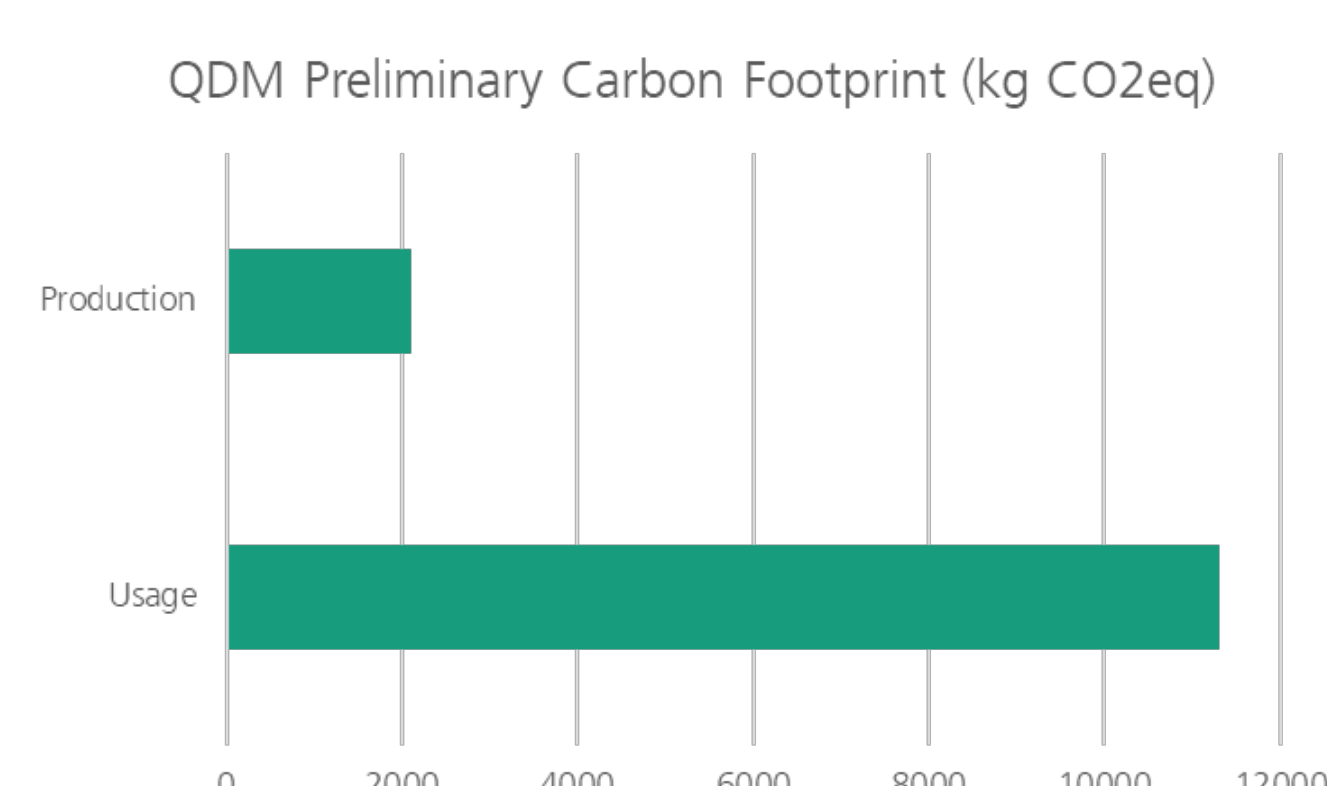


Abbildung 2: Vorläufige Ökobilanz-Abschätzung des QDM

4 Ziele & Beschreibung, Vorgehen & Methodik

CO₂-Fußabdruck

Um das QDM als neuartige Technologie einen CO₂-Fußabdruck zu bestimmen soll eine vereinfachte Ökobilanz der Herstellungs- und Nutzungsphase erstellt werden. Diese ermöglicht eine generelle Bewertung des QDM und die Identifikation von Hot-Spots in dessen Umweltauswirkung. Da für viele Komponenten keine Daten vorhanden sind, wird hier auf Disaggregation in Subkomponenten, Verwendung von Proxy-Daten und materialbasierte Modellierungen zurückgegriffen. Aufgrund der ersten Ergebnisse soll im Folgenden ein besonderer Schwerpunkt auf die Nutzungsphase gelegt werden.

CO₂-Handabdruck

Um die positiven Auswirkungen des QDM zu modellieren, werden zwei Ansätze parallel verfolgt:

- Vergleich mit einem anderen Gerät zur Magnetfeldabbildung (SQUID), dass aufgrund von Kühlung auf 77K eine höhere Leistungsaufnahme hat.
- Modellierung, wie der Einsatz des QDM in der Fehleranalyse den Entwicklungsprozess vom "first silicon" zur Qualifikation beschleunigen kann und dadurch Einsparungen von potentiell Mio. von Euro und vieler Tonnen CO₂ ermöglichen könnte. In der Literatur sind diesbezüglich hauptsächlich ökonomische Bewertungen vorhanden, die, soweit geeignet, in eine ökologische Bewertung übertragen werden sollen.

5 Innovation & Zukunftsperspektive

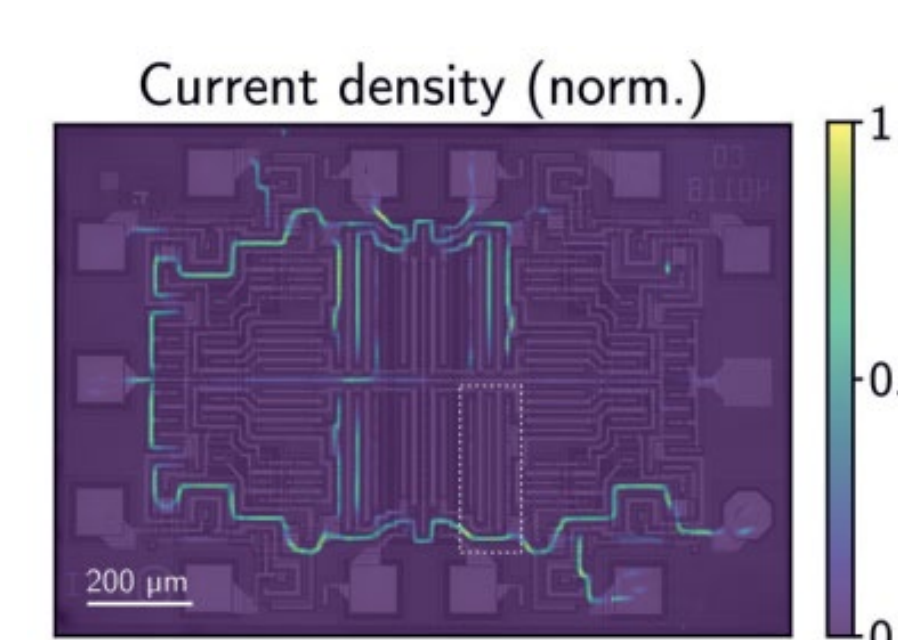


Abbildung 3: Stromdichtebestimmung mittels QDM in NAND-Gate Mikrochips. Die aus den Magnetfeldern bestimmten Ströme sind hier visuell auf den Schaltplan überlagert

Das Gerät ist das weltweit einzige kommerzielle QDM mit Markteintritt Anfang 2026.

Es wird aktuell u.A. in Bezug auf die folgenden Aspekte weiterentwickelt:

- Eine zukünftige "In-Fab"-Anwendung in der Fertigung wird aufgrund der weitaus höheren Stückzahlen den Handabdruck deutlich verbessern
- Eine schnellere Aquisitionszeit wird die Emissionen pro Messung weiter senken.
- Ein verbesserter Standby-Modus wird den dominanten Anteil der Nutzungsphase am Fußabdruck reduzieren

6 Ansprechpersonen

QuantumDiamonds: fleming.bruckmaier@qd-st.com
 Fraunhofer EMFT: daniela.zahn@emft.fraunhofer.de
 Fraunhofer IZM: hendrik.robers@izm.fraunhofer.de

