

# TRITON

Heterogeneous Integration of Millimeter-Wave Technology

|                                 |                                                                                                |                        |               |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------|
| <b>Programm / Ausschreibung</b> | Produktion der Zukunft, 19. AS Produktion der Zukunft 2016 national                            | <b>Status</b>          | abgeschlossen |
| <b>Projektstart</b>             | 01.05.2017                                                                                     | <b>Projektende</b>     | 28.02.2021    |
| <b>Zeitraum</b>                 | 2017 - 2021                                                                                    | <b>Projektlaufzeit</b> | 46 Monate     |
| <b>Keywords</b>                 | 2.5D integration, hetero-integration, semiconductor process technology, photonics, electronics |                        |               |

## Projektbeschreibung

Millimeterwellen-Technologie verwendet den noch wenig genutzten Frequenzbereich beginnend um 30 GHz und eröffnet dadurch neue Perspektiven für eine Vielzahl von Anwendungen in den Bereichen Luft- und Raumfahrt, Gesundheitswesen, Automobilindustrie und Telekommunikation. Allerdings sind aktuelle Halbleiterprozesse, die die Grundlage der Millimeterwellensysteme bilden noch nicht reif genug, um den Anforderungen dieser aufkommenden Technologie zu erfüllen. TRITON erforscht innovative Lösungen entlang der gesamten Funktionskette moderner Millimeterwellen-Halbleitertechnik: angefangen bei Gallium-Nitride-on-Silicon-Carbide (GaN-on-SiC) und Silicon-Germanium (SiGe) Hochfrequenz-Elektronik, welche in der Lage ist, energie-effizient das 30-GHz Ka-Band zu erschließen, bis hin zu Silicon-on-Insulator (SOI) Photonik mit leistungseffizienten Modulatoren und Photodetektoren zur direkten Umsetzung von Signalen zu und von der optischen Domäne. Den Kern des in TRITON verwendeten technologischen Ansatzes bildet ein Silizium-Interposer, welcher als vielseitige Integrationsplattform für funktionale III-V und Gruppe-IV Komponenten dient. Dadurch können sämtliche funktionalen und zugleich heterogenen Halbleiterelemente mit unterschiedlichen Technologien prozessiert und anschließend durch industrietaugliche Prozesse co-integriert werden – ohne dabei auf Systemebene durch einen technologischen Bindungseffekt behindert zu werden. Der innovative Charakter von TRITON basiert auf:

(1) TRITON untersucht GaN-on-SiC und SiGe als neues Basismaterialsystem für mm-Wellen Elektronik. Die Verwendung eines Siliziumsubstrats reduziert die Halbleiterherstellungskosten im Vergleich zu herkömmlichen III-V Integrationsplattformen beträchtlich; Darüber hinaus ermöglicht es, die 100-GHz Barriere zu durchbrechen und hochlineare mm-Wellen-verstärkung zu realisieren – bei gleichzeitiger Verbesserung des Leistungswirkungsgrades auf >40%. Eine Chipgröße von 10x10 mm<sup>2</sup> ermöglicht hohe Integrationsdichten.

(2) Silizium-Interposer mit großer 20x20 mm<sup>2</sup> Nutzfläche ermöglichen durch mechanische und thermische Unterstützung System-on-Chip Realisierungen. Dazu werden existierende Prozesse modifiziert, gestützt durch umfangreiche Modelle: Temporäres Waferbonden, reaktives Ionentiefätzen, Reinigungsverfahren und Lagenabscheidung werden verfeinert, um Silizium-Durchkontaktierungen und metallische Redistributions-Schichten bei Frequenzen bis in das V/E-Band zu realisieren. Die Verwendung eines rein passiven Silizium-Interposers in Kombination mit SOI-Photonik ebnet den Weg für einen Photonik-bemächtigten Interposer.

TRITON wird mit den entwickelten Prozessen Test-Chips fertigen und im Bereich von 27-32 GHz mit gleichzeitiger

Übersetzung zu und von der optischen Domäne charakterisieren. Dies passiert mit Fokus auf mm-Wellen Verstärkung für zukünftige Systeme zu 5G und Industrie 4.0. Die Beteiligung der Industrie entlang der technologischen Wertschöpfungskette durch Infineon im Bereich der mm-Wellen Elektronik und durch AMS im Bereich der Silizium-Interposertechnologie garantiert die erfolgreiche Verwertung der in TRITON untersuchten Technologien.

## **Abstract**

The emergence of millimeter-wave technology exploiting unused frequency band starting from 30 GHz opens new vistas for a plurality of applications in fields like aerospace, healthcare, automotive, the industrial sector and telecommunications. However, current semiconductor processes that form the foundation of mm-wave systems are yet not mature enough to fulfill the requirements of this uprising technology and thus pathways towards exploitation of this future-proof market remain untapped.

TRITON will provide solutions for mm-wave technology along the entire functional chain: originating from high-frequency gallium-nitride-on-silicon-carbide (GaN-on-SiC) and silicon-germanium (SiGe) electronics capable to operate energy efficiently at frequencies like the 30-GHz Ka-band as considered for next-generation wireless access towards silicon-on-insulator (SOI) photonics featuring low-drive modulators and photodetection for seamless translation of signals to and from the optical domain. At the core of TRITON's technological mm-wave compound lies a silicon interposer that serves as versatile integration bench for III-V and group-IV components. Several functional yet heterogeneous semiconductor elements of TRITON can be processed with different technologies and consecutively blended using industry-compatible assembly processes rather than being stalled from co-integration at the system level due to a technological lock-in. The innovative nature of TRITON builds on two technological advances:

(1) TRITON will investigate the use of GaN-on-SiC and SiGe as new baseline material systems for mm-wave electronics. The use of a silicon substrate not only greatly reduces the semiconductor production cost compared to conventional III-V integration platforms; In combination with highly linear mm-wave amplification it enables to break the 100 GHz barrier for transit frequencies while at the same time leading to an improved power-added efficiency of more than 40%. A large compatible die size of 10x10 mm<sup>2</sup> enables high integration densities.

(2) TRITON's large 20x20 mm<sup>2</sup> silicon interposer will mechanically and thermally support mm-wave system-on-chip realizations. A number of modifications backed by extensive models will be introduced to the associated processes. Temporary wafer bonding, deep reactive ion etching, cleaning and layer deposition will be refined in order to advance through-silicon via and redistribution layer technology even up to V/E-band operation. The use of a silicon interposer and SOI photonics will pave the way for a photonics-enabled interposer.

TRITON aims to fabricate and characterize test-chips according to its forward-looking methodology, incorporating the functionalities of mm-wave amplification in the 27-32 GHz range and translation to and from the optical domain in view of emerging applications in 5G and the industrial internet. Industrial participation along the technological supply chain through Infineon on mm-wave electronics and AMS on silicon interposer technology ensures commercial exploitation of TRITON's findings.

## **Projektkoordinator**

- AIT Austrian Institute of Technology GmbH

## **Projektpartner**

- ams-OSRAM AG

- Infineon Technologies Austria AG
- Technische Universität Graz Institut für Hochfrequenztechnik
- Technische Universität Wien Institute of Electrodynamics, Microwave and Circuit Engineering