

## Interdyscyplinarne badania nad integracją aktywnych i pasywnych elementów subterahercowych w jeden monolityczny obwód wykonany w zaawansowanej technologii azotkowej

Rosnące zainteresowanie wysokimi częstotliwościami (ang. high frequency HF) wynika głównie z zastosowań komunikacyjnych i zainteresowań badawczych w różnych dyscyplinach naukowych. Pomimo wielu wysiłków w różnych projektach badawczo-rozwojowych, podczas zwiększania częstotliwości można napotkać kilka krytycznych przeszkód, które znacząco ograniczają dalszy rozwój. Nasz projekt ma na celu interdyscyplinarne badania możliwości integracji elementów elektronicznych w jednym chipie zaprojektowanym i wykonanym w technologii opartej na azotku galu. Nasza docelowa częstotliwość mieści się w górnym zakresie pasma EHF (ekstremalnie wysokie częstotliwości [1]), czyli powyżej 100 GHz. W szczególności projekt ma na celu prowadzenie interdyscyplinarnych badań w zakresie subterahercowym (sub-THz: 0,1-0,3 THz), który jest bardzo atrakcyjny w inżynierii HF, elektronice, fizyce półprzewodników oraz inżynierii materiałowej. Bazując na wcześniejszych pracach członków zespołu konsorcjum [2-3], i wiedzy specjalistycznej w ich dyscyplinach badawczych, proponujemy badania, które mogą stanowić wkład w efektywnie działające systemy i wypełnić tę lukę zintegrowanych systemów półprzewodnikowych w zakresie subteraherców.

Dlatego naszym głównym **celem naukowym jest zbadanie możliwości integracji pasywnych i aktywnych elementów elektronicznych w jednym chipie zaprojektowanym i wykonanym w technologii opartej na azotku galu**. Oprócz opisanych we wniosku problemów naukowych do rozwiązania, które zwykle pojawiają się wraz ze wzrostem częstotliwości powyżej 100 GHz oraz problemów z integracją części pasywnych i aktywnych w jednej technologii, proponujemy zastosowanie szerokoprzerwowego podłoża GaN SI w dwóch rolach: jako podłoża półprzewodnikowe oraz podłoża dielektryczne dla anten planarnych (elementy pasywne). Nasz projekt opieramy także na wstępnych wynikach, które w ostatnim czasie uzyskano w zakresie sub-THz dla elementów pasywnych na podłożu amonotermalnym GaN. Z powodzeniem zaobserwowaliśmy duży zysk anteny otoczonej specjalnie zaprojektowanymi metapowierzchniami. Wynik ten potwierdza możliwość ograniczenia wzbudzania fal powierzchniowych za pomocą specjalnie zaprojektowanych struktur pasywnych. Następnie elementy pasywne można zintegrować z aktywnymi komponentami w ramach jednego projektu i wykonać w jednym procesie technologicznym. Zatem dodatkowym celem niniejszego projektu jest opracowanie konkretnych koncepcji projektowych dla przyrządów na zakres sub-THz w technologii opartej na azotku galu na potrzeby tej integracji. Ponadto stawiamy hipotezę, że w oparciu o: aktualny stan wiedzy, naszą wiedzę i doświadczenie, symulacje numeryczne oraz nasze wstępne wyniki, jesteśmy w stanie zaprojektować, wykonać i zbadać zintegrowany system z elementami aktywnymi i pasywnymi efektywnie działającymi powyżej 100 GHz na podłożu GaN. Według naszej najlepszej wiedzy zaproponowane podejście jest pionierskie w swojej dziedzinie i częściowo może być zrealizowane dzięki unikalnemu dostępowi do wysokiej jakości podłoży i technologii badawczo-rozwojowych dostępnych w IWC PAN.

Znaczenie tego projektu wynika ze złożoności i interdyscyplinarności wymagających rozwiązania problemów, związanych z ograniczeniami technologicznymi i brakiem wysokiej jakości próbek w zakresie sub-THz. Dlatego proponujemy zdobywanie w tym zakresie wiedzy poprzez integrację elementów pasywnych i aktywnych. Przewidujemy istotne problemy badawcze i pewne wyzwania, jednak opierając się na naszym doświadczeniu w fizyce HF i technologii półprzewodników, fizyce stosowanej czy elektronice HF oraz wstępnych wynikach, proponujemy kompleksowe podejście do ich rozwiązania dla stworzenia zintegrowanych układów sub-THz. Zaproponowany plan pracy, z określonymi zadaniami i celami naukowymi, jest oparty na uzupełniających się kompetencjach, wiedzy specjalistycznej i zastosowanych metodologiach dwóch partnerów konsorcjum, w skład którego wchodzi IWC PAN (w fizyce półprzewodników) i Politechnika Warszawska (w inżynierii HF). Ponadto wierzymy, że już przeprowadzone wspólne badania stanowią istotną bazę do realizacji tego projektu.

Wierzimy, że wpływ wyników na interdyscyplinarny rozwój wielu dziedzin badawczych i dyscyplin naukowych będzie polegał na zrozumieniu nowych podstawowych właściwości fizycznych i parametrów wysokoczęstotliwościowych zintegrowanych obwodów sub-THz oraz interakcji pomiędzy częściami aktywnymi i pasywnymi. Szerszy wpływ projektu będzie polegał na opracowaniu niezawodnej zintegrowanej technologii, która będzie później mogła stanowić podstawę dla systemów bezprzewodowych wykraczających poza 5G.

[1] *Radio Regulations, 2020 Edition*, International Telecommunication Union.

[2] Y. Yashchyshyn *et al.*, *Micromachines* 2021, 12, 1343, doi: [10.3390/mi12111343](https://doi.org/10.3390/mi12111343).

[3] P. Bajurko *et al.*, *IEEE Access*, vol. 11, pp. 125909-125917, 2023, doi: [10.1109/ACCESS.2023.3331222](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3331222).