

**Współpraca Polska – Berlin/Brandenburgia, 5. konkurs**  
**Wzór nr 1 do Wniosku o Dofinansowanie**

**C. OPIS PROJEKTU<sup>1</sup>**

**Część merytoryczna - nie podlega poprawie bądź uzupełnieniu podczas korekty formalnej wniosku**

**(maks. 8 stron A4; plik załączany w formacie PDF - W przypadku przekroczenia wskazanego limitu stron, do oceny merytorycznej zostanie przekazanych 8 pierwszych stron dokumentu.)**

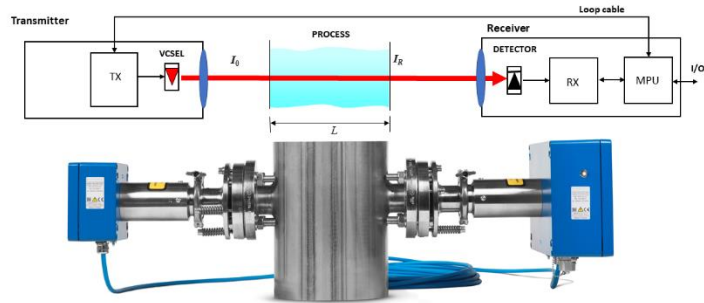
	<p><b>Zgodność z obszarem tematycznym konkursu – należy uzasadnić, jak projekt wpisuje się w obszar tematyczny konkursu</b></p>
28.	<p>Projekt spełnia wymagania konkursu łącząc w sobie badania naukowe na najwyższym światowym poziomie, które przekładają się na rozwiązania praktyczne w obszarze fotoniki. Główny planowany rezultat projektu w postaci nowego typu taniego, optycznego analizatora pary wodnej, jest kluczowym elementem wielu zastosowań związanych z monitorowaniem środowiska oraz kontrolą procesów przemysłowych. Zastosowanie w takim systemie lasera o emisji powierzchniowej z pionową wnęką rezonansową - VCSEL (<i>ang. vertical-cavity surface-emitting laser</i>) i matrycy takich laserów nowego typu, które zostaną skonstruowane w ramach projektu, znacząco obniży jego cenę w stosunku do jakichkolwiek analogicznych rozwiązań dostępnych na rynku (w porównaniu ze stosowanymi obecnie laserami krawędziowymi typu DFB, <i>ang. distributed feedback</i>) i dodatkowo zmniejszy zużycie energii czyniąc go bardziej przyjaznym środowisku i zgodnym z założeniami zrównoważonego rozwoju. Pozwoli to na znacznie szersze zastosowanie takich systemów, co przełoży się na wzrost wydajności i standardów bezpieczeństwa oraz umożliwi dokładniejsze monitorowanie stanu środowiska w procesach przemysłowych, w szczególności związanych z takimi gałęziami przemysłu jak petrochemiczny, chemiczny, spożywczy czy energetyczny, jak również w procesach produkcji cementu, szkła, obróbki drewna i odzyskiwania odpadów.</p> <p>W ramach projektu zostaną zaprojektowane i wytworzone nowe przyrządy fotoniczne, tj. przestrzajalny laser VCSEL z obszarem aktywnym w postaci niejednorodnego zbioru kropek kwantowych - KK (<i>ang. quantum dots</i>) o wysokiej gęstości powierzchniowej emitujący fale o długości z zakresu (935-955) nm oraz macierz 2x2 tego typu laserów na jednym chipie (wytworzona w pojedynczym procesie epitaksjalnym). Dzięki zastosowaniu wnęki z podfalową siatką dyfrakcyjną typu MHCG (<i>ang. monolithic high-contrast grating</i>), matryca tego typu pokrywa czterokrotnie szerszy zakres spektralny emisji niż pojedynczy laser VCSEL. Zastosowania urządzeń powstałych w wyniku realizacji projektu wykraczają znacznie poza zastosowania do detekcji gazów. Ponadto podczas realizacji projektu rozwinięte zostaną wydajne metody numeryczne i algorytmy do optymalizacji laserów VCSEL, uwzględniające właściwości optyczne, elektryczne, termiczne i mechaniczne, które mogą zostać łatwo zaadaptowane do symulacji innych struktur fotonicznych i przyrządów półprzewodnikowych.</p> <p>Realizacja projektu wzmocni współpracę zarówno instytucji akademickich, jak i partnerów przemysłowych z Niemiec i Polski w dziedzinie fotoniki i pozwoli na nawiązanie współpracy z działającym na terenie okręgu Berlin-Brandenburgia klastrem fotonicznym (<i>ang. Photonics Cluster Berlin Brandenburg</i>), którego członkami są już dwaj partnerzy – Epigap i eagleyard. Spodziewanym efektem realizacji projektu jest uzyskanie istotnych wyników naukowych oraz zgromadzenie zupełnie nowej wiedzy nt. nowatorskich struktur laserowych, również w kontekście wybranej aplikacji, które przewiduje się, że zostaną opublikowane w prestiżowych czasopismach specjalistycznych o wysokim współczynniku wpływu (<i>ang. impact factor</i>). Należać do nich będą w szczególności: opisanie własności, optymalizacja geometrii i weryfikacja potencjału aplikacyjnego wnęk nowego typu utworzonych ze zwierciadła Bragga i siatki MHCG oraz sprzężenia KK z ich modami optycznymi, jak również przestrzajanie długości fali emisji lasera VCSEL przy pomocy zewnętrznego pola naprężeń generowanego przez przykładanie napięcia do zintegrowanej piezoceramiki. Znaczna część rezultatów projektu będzie miała bardzo duży potencjał rynkowy ze względu na uzyskanie rozwiązań, których parametry będą konkurencyjne w stosunku do obecnie istniejących. Do rezultatów o potencjale wdrożeniowym należą: pierwsze na świecie lasery VCSEL z górnym zwierciadłem w postaci siatki MHCG i obszarem aktywnym w postaci KK, ich przestrzajalne matryce (Epigap i eagleyard), analizator pary wodnej (Airoptic), oprogramowanie do symulacji struktur fotonicznych (JCM). Będą one mogły być skomercjalizowane przez partnerów projektu w niedługim czasie po jego zakończeniu i pozwolą im uzyskać przewagę rynkową w danym obszarze. Dlatego właśnie zaproponowany projekt w dziedzinie fotoniki wpisuje się idealnie w zakres tematyczny konkursu, jak również w europejską strategię tworzenia klastrów fotonicznych i wzmacniania rozwoju i współpracy regionalnej pomiędzy instytucjami naukowymi i partnerami przemysłowymi.</p>
29.	<p><b>Cele projektu, zadania planowane do realizacji w ramach projektu z wyszczególnieniem zadań polskiego partnera i oczekiwanych wyników projektu, innowacyjność i oryginalność projektu</b></p> <p>Celem projektu jest stworzenie innowacyjnego, taniego i niezawodnego spektroskopowego analizatora pary wodnej opartego na przestrzajalnych laserach półprzewodnikowych (<i>ang. tunable diode laser spectrometer - TDLS</i>) wykorzystującego macierze laserów VCSEL z obszarami czynnymi w postaci KK oraz zwierciadłami MHCG. System ten będzie charakteryzował się wysoką dokładnością i umożliwiał wykrywanie niewielkich koncentracji pary wodnej w zastosowaniach przemysłowych w trakcie trwania procesów technologicznych (<i>in-situ</i>). Para wodna jest jednym z najpowszechniej monitorowanych elementów w procesach przemysłowych i ich produktach ubocznych. Określenie poziomu wilgotności jest niezbędne w kontroli procesów technologicznych w przemyśle energetycznym, chemicznym, petrochemicznym, produkcji drewna, papieru i stali. Precyzyjne, szybkie i niezawodne pomiary</p>

<sup>1</sup> Pola należy wypełnić używając czcionki Arial rozmiar 9.

**Współpraca Polska – Berlin/Brandenburgia, 5. konkurs**  
**Wzór nr 1 do Wniosku o Dofinansowanie**

wilgotności w gazie ziemnym, gazie w formie ciekłej i w procesie produkcji i transportu wodoru są wymagane w celu spełnienia norm jakości gazu oraz zabezpieczenia instalacji i rur przez korozją. Katastrofalne w skutkach awarie takich systemów poprzedzone są niewielkim wzrostem wilgotności i dlatego tak ważny jest krótki czas odpowiedzi charakterystyczny dla urządzeń typu TDLS, które są najlepszym rozwiązaniem w tego typu pomiarach.

Proponowany system monitorowania wilgotności in-situ składa się z dwóch modułów umieszczonych naprzeciwko siebie po przeciwnych stronach linii procesowej (Rys. 1).



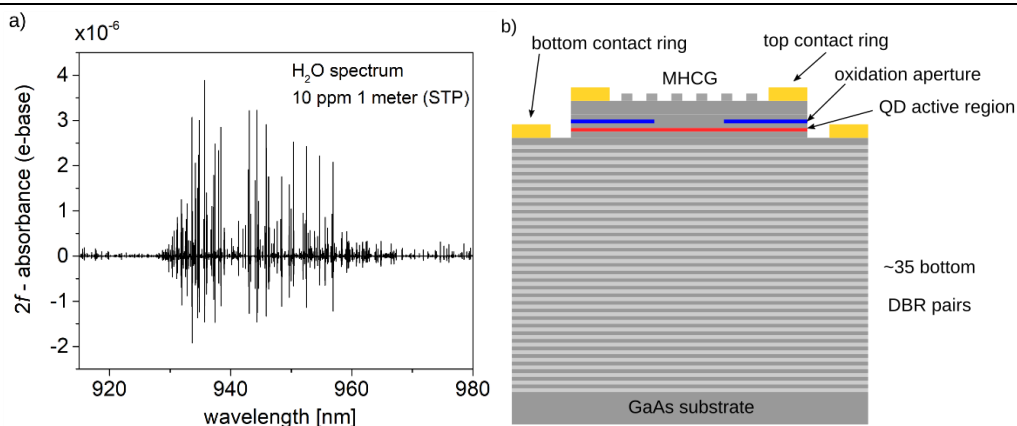
*Rysunek 1. Schemat systemu detekcji gazów in-situ: TX – nadajnik, RX – odbiornik, MPU – (main processing unit - główny moduł sterująco-obliczeniowy)*

Światło emitowane przez laser VCSEL lub matrycę takich laserów umieszczonych w nadajniku jest kolimowane i przesyłane do odbiornika przez obszar, w którym odbywa się proces technologiczny, w którym chcemy dokonać pomiaru wilgotności. Po przejściu przez badany obszar światło jest skupiane na fotodetektorze, który zamienia sygnał optyczny na elektryczny, który podlega obróbce i analizie. Pomiar realizowany jest poprzez przestrojenie lasera lub matrycy laserów w zakresie spektralnym, w którym znajduje się linia lub kilka linii absorpcyjnych wody. Pomiar widma optycznego w zakresie charakterystycznym pozwala łatwo odróżnić parę wodną od węglowodorów o przekrywającym się widmie absorpcyjnym. Osłabienie wiązki laserowej spowodowane absorpcją jest wykorzystane do określenia poziomu wilgotności. W celu zwiększenia czułości pomiaru stosuje się modulację długości fali emitowanej przez laser w zakresie częstotliwości kilkudziesięciu kHz. W przypadku proponowanego lasera VCSEL zmiana emitowanej długości fali zostanie zrealizowana poprzez modulację natężenia prądu zasilającego. W ramach projektu zostanie też przetestowane nowatorskie rozwiązanie oparte na sterowaniu długością fali emisji poprzez naprężenia przyłożone do struktury za pośrednictwem zintegrowanej piezoceramiki. Centralna długość fali emitowanej przez pojedynczy laser będzie stabilizowana dzięki precyzyjnemu sterowaniu prądem zasilającym i temperaturą lasera (termoelektryczne element chłodzący - TEC). Aby umożliwić przestrajanie długości fali w szerszym zakresie spektralnym zamiast jednego lasera zastosowana zostanie ich macierz 2x2. Lasery zostaną umieszczone na jednym chipie i wspólnym TEC. Zastosowanie matrycy laserów o emisji obejmującej szerszy zakres widma absorpcji pary wodnej pozwala na poprawienie następujących parametrów systemu detekcji:

a) selektywność analizatora – mniejsza podatność na błędy wynikające z przekrywania się linii absorpcyjnych pary wodnej z innymi substancjami, np. metanem; b) czułość; c) zakres dynamiczny pracy wilgotnościomierza – od ułamków ppm do 100%; d) pomiaru zawartości pary wodnej w warunkach wysokich ciśnień; e) pomiaru temperatury gazu; f) równoczesnej detekcji wielu różnych gazów.

Kluczowym elementem analizatorów używanych w detekcji gazów jest źródło laserowe, które musi spełniać ściśle określone wymagania, a mianowicie: jednomodowość (tłumienie modów bocznych na poziomie co najmniej 25 dB), wąska linia emisyjna ( $< 10$  MHz) z zakresu (935-955) nm (Rys. 2a) oraz przestrajalność w zakresie co najmniej  $\pm 1$  nm, żywotność - co najmniej 6 lat ciągłej pracy, wysoka stabilność, wydajne chłodzenie, pozwalające na pracę lasera w temperaturach do 55 °C, dobra wytrzymałość mechaniczna na wstrząsy ( $70 \text{ m/s}^2$  i czasie trwania do 20 ms) i drgania o amplitudzie do 5g i częstotliwości z zakresu (20-2000) Hz. W przypadku pomiarów in-situ rozbieżność wiązki nie może przekraczać  $45^\circ$  ( $1/e^2$  w połowie szerokości).

**Współpraca Polska – Berlin/Brandenburgia, 5. konkurs**  
**Wzór nr 1 do Wniosku o Dofinansowanie**



*Rysunek 2. a) Widmo absorpcji przejść oscylacyjno-rotacyjnych pary wodnej; b) schemat struktury przestrajnego lasera VCSEL z obszarem aktywnym w postaci kropek kwantowych i siatką podfalową MHCG.*

Celem projektu jest stworzenie nowego źródła laserowego – matrycy laserów VCSEL, które zastąpi lasery typu DFB stosowane obecnie standardowo w systemach TDLS do wykrywania pary wodnej. Zaproponowane urządzenie pozwoli na ok. pięćdziesięciokrotne obniżenie prądu progowego (do poziomu ok. 1 mA), zapewni kołowy przekrój wiązki i dobrą jej zbieżność, jednomodowość wynikającą z samej konstrukcji struktury laserowej, przestrajalność, możliwość wyboru centralnej długości fali emisji z szerokiego zakresu oraz wytwarzanie standardowymi metodami litografii. Niski prąd progowy oraz wysoki współczynnik modulacji częstotliwości charakterystyczny dla laserów VCSEL pozwoli na obniżenie pasożytniczej szczytkowej modulacji amplitudowej (*ang. residual amplitude modulation*) typowej dla laserów o emisji krawędziowej, co pozwoli na znaczącą poprawę charakterystyk spektralnych sygnału odniesienia, co w rezultacie pozwoli na osiągnięcie progu detekcji względnej absorpcji na poziomie  $10^{-7}$ . Dodatkową zaletą zastosowania laserów VCSEL jest możliwość ich testowania na różnych etapach wytwarzania, co znacznie zwiększa wydajność i obniża koszty wyprodukowania gotowego urządzenia. W związku z tym przewiduje się obniżenie kosztów wytworzenia systemu detekcji gazów o ok. (50-70) %. Zaproponowany system detekcji będzie oparty na laserze VCSEL lub całej matrycy takich laserów z obszarem aktywnym w postaci zbioru KK In(Ga)As/GaAs o wysokiej jakości optycznej powstałych na drodze samoorganizacji. Głównymi zaletami zastosowania struktur zerowymiarowych jako obszaru aktywnego jest lepsza stabilność temperatury prądu progowego lasera, który zazwyczaj przyjmuje niższe wartości niż dla obszarów czynnych w postaci studni kwantowych oraz szeroka spektralnie (kilkadziesiąt nanometrów) funkcja wzmocnienia. Lasery takie charakteryzują się niższą mocą optyczną w porównaniu z bardziej standardowymi laserami z obszarem aktywnym w postaci studni kwantowej, ale w przypadku zastosowań do detekcji gazów osiągalne są moce wyjściowe na poziomie miliwatów (minimalna wymagana moc wyjściowa lasera wynosi 100  $\mu$ W). Struktura epitaksjalna lasera VCSEL zostanie wytworzona względnie taną metodą osadzania z fazy gazowej z użyciem związków metaloorganicznych (*ang. metalo-organic chemical-vapor deposition - MOCVD*), która daje możliwości produkcji chipów laserowych na masową skalę. Centralna długość fali emisji każdego lasera będzie ustalana na etapie jego wytwarzania. Zastosowana do tego celu zostanie siatka MHCG zaprojektowana przez LUT, która dodatkowo zapewni ściśle liniową polaryzację emitowanego promieniowania. Symulacje komputerowe oraz pierwsze wyniki eksperymentalne na temat siatek MHCG opublikowane przez LUT wskazują na ich olbrzymi potencjał przy zastosowaniu w laserach o emisji powierzchniowej dzięki możliwości definiowania za ich pomocą długości fali emisji oraz dobroci wneki na już istniejącej strukturze epitaksjalnej. Połączenie właściwości obszaru aktywnego o dużym poszerzeniu niejednorodnym z odpowiednio zaprojektowaną siatką MHCG pozwoli w jednym procesie technologicznym wytworzyć na jednym chipie lasery (Rys. 2b) oraz matryce laserów, w których każda struktura laserowa będzie emitowała inną długość fali wybraną z zakresu (935-955) nm istotnego dla zastosowania w detekcji pary wodnej. Oprócz zastosowania standardowej metody przestrajania laserów VCSEL (przy pomocy modulacji prądu zasilającego) w ramach projektu planuje się także zweryfikowanie możliwości sterowania długością fali emisji pojedynczego emitera przy pomocy zewnętrznych pola naprężenia generowanego przez przyłożenie napięcia do zintegrowanej piezoceramiki. Zastosowanie tej metody nie byłoby możliwe w przypadku standardowej konstrukcji wneki lasera VCSEL, gdyż mechanizmem zmiany długości fali będzie zmiana okresu siatki MHCG. Zaletą tego całkowicie oryginalnego podejścia jest możliwość sterowania długością fali lasera przy stałym prądzie zasilającym, a więc stałej wyjściowej mocy optycznej urządzenia. Dzięki temu możliwe jest niezależne sterowanie mocą optyczną i długością fali lasera, co daje dużo większą przestrzeń parametrów pracy pojedynczego urządzenia.

Realizacja projektu stanie się podstawą wytwarzania przestrajalnych jednomodowych laserów półprzewodnikowych VCSEL oraz ich matryc nowego typu, o niskiej mocy optycznej, ściśle określonej polaryzacji i wąskiej linii emisyjnej. Bardzo istotną zaletą zaproponowanych urządzeń jest możliwość wytworzenia w jednym procesie epitaksjalnym laserów o długości fali emisji z szerokiego zakresu spektralnego. Tego typu urządzenia są interesujące nie tylko do zastosowań w detekcji gazów, których dotyczy ten projekt, ale także do krótkozasięgowej komunikacji optycznej, systemów typu LIDAR, detektorów typu time-of-flight, w autonomicznych pojazdach, robotach oraz dronach. W ramach projektu powstanie demonstrator systemu do detekcji pary wodnej, który w przyszłości może zostać skomercjalizowany przez jednego z polskich partnerów - firmę Airopic. Samo źródło laserowe typu VCSEL o nowej konstrukcji zaproponowanej w projekcie ma wysoki potencjał komercjalizacyjny

## **Współpraca Polska – Berlin/Brandenburgia, 5. konkurs**

### **Wzór nr 1 do Wniosku o Dofinansowanie**

i może w przyszłości rozszerzyć ofertę niemieckich partnerów - firm Epigap i eagleyard, które już na etapie realizacji projektu skorzystają ze współpracy z partnerem technologicznym, mogącym dostarczać chipów laserowych - TUB oraz odbiorcą gotowych laserów - Airoptic. JCM rozwine w ramach projektu wydajne algorytmy i metody numeryczne, które mogą zostać zaadoptowane do symulacji innych przyrządów półprzewodnikowych i struktur fotonicznych, co rozszerzy ofertę ich oprogramowania. Instytucje naukowe zaangażowane w realizację projektu skorzystają na wymianie wiedzy, doświadczenia i praktycznych umiejętności pomiędzy partnerami oraz pozyskają nowych partnerów przemysłowych do współpracy, którzy w ramach projektu przetestują zaproponowane nowatorskie rozwiązania i ich użyteczność w zastosowaniach przemysłowych. Aby zrealizować wszystkie wymienione powyżej cele, wyróżniono w realizacji projektu 7 zadań (zadania realizowane w całości lub w części przez polskich partnerów są szczegółowo omówione w części "D" wniosku):

#### **1. Zaprojektowanie oraz zoptymalizowanie konstrukcji lasera VCSEL z wykorzystaniem metod symulacji komputerowych (LUT we współpracy z niemieckim partnerem przemysłowym JCM). M1-M36**

Zadanie obejmuje wszystkie symulacje lasera VCSEL, których celem jest optymalizacja jego konstrukcji tak, aby jego parametry odpowiadały wymaganiom stawianym źródłom laserowym do zastosowań w systemach detekcji gazów, m. in. optymalizacja geometrii siatki podfalowej i wnęki lasera VCSEL, odprowadzenia ciepła w laserze VCSEL i matrycy takich laserów. Celem jest uzyskanie jednomodowego lasera o okrągłym przekroju wiązki o dobrej zbieżności, długości fali emisji z zakresu (935-955) nm, stabilnej pracy i minimalnym zużyciu energii elektrycznej. Wynikiem realizacji zadania będą konstrukcje siatek podfalowych i pełnej struktury laserowej spełniającego wymagania projektu, które zostaną zrealizowane w praktyce przez TUB (Zad. 4), a zweryfikowane przez WUST (Zad. 5). Kamienie milowe zadania:

#### **2. Rozwój technologii i wzrost obszaru czynnego w postaci KK emitujących w zakresie (935-955) nm (TUB). M1-M28**

Zadanie będzie realizowane w całości przez zespół z TUB oraz finansowane przez stronę niemiecką.

Zadanie obejmuje rozwój technologii i wzrost techniką MOCVD struktur z KK InGaAs/GaAs o wysokiej gęstości powierzchniowej ( $> 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ ) i emisji w zakresie (935-955) nm w temperaturze pokojowej. TUB przeprowadzi charakteryzację strukturalną wytworzonego materiału. Dane te staną się parametrami wejściowymi do obliczeń struktury energetycznej i wesprą interpretację charakterystyki optycznej (Zad. 3). Realizacja zadania wymaga pracy TUB i WUST w pętli sprzężenia zwrotnego i bieżącej wymiany informacji na temat kolejnych generacji struktur z KK. Wynikiem realizacji zadania jest wzrost zaprojektowanych i zoptymalizowanych w Zad. 1 struktur z KK o wysokiej jakości optycznej, spełniającymi wymagania projektu, które mają pełnić rolę obszaru aktywnego laserów VCSEL oraz struktur laserowych typu p-i-n z odpowiednim domieszkowaniem i zwierciadłem Bragga poniżej warstwy KK. Z wykorzystaniem tego materiału epitaksjalnego zostaną wytworzone docelowe struktury/chipy laserowe (Zad. 4), które zostaną najpierw scharakteryzowane (Zad. 5), następnie staną się częścią aktywną właściwych urządzeń (Zad. 6), a w końcu źródłem laserowym w układzie detekcji gazów (Zad. 7). W celu weryfikacji użyteczności metody przestrajania długości fali emitowanej przez laser polem naprężeń generowanym przez piezoelement (Zad. 5) wzrosnięta zostanie analogiczna do opisanej powyżej domieszkowana struktura laserowa o odwróconym układzie warstw i dodatkową warstwą zapewniającą selektywność trawienia tak, aby możliwe było zintegrowanie piezoceramiki ze strukturą laserową metodą termokompresyjną po odwróceniu chipu (ang. flip-chip method) i strawieniu podłoża.

#### **3. Charakteryzacja obszarów czynnych w postaci kropek kwantowych (WUST we współpracy z TUB). M1-M28**

W ramach tego zadania WUST scharakteryzuje optycznie materiał epitaksjalny dostarczony przez TUB (Zad. 2), a wyniki doświadczalne uzyskane z zastosowaniem komplementarnych technik spektroskopowych (fotoluminescencja, także czasowo-rozdzielcza i wzbudzeniowa, fotoodbicie) wsparte będą wynikami obliczeń struktury energetycznej i właściwości optycznych (metoda kp i oddziaływania-konfiguracji, komercyjna implementacja – Nextnano oraz oprogramowanie własne). Celem zadania jest wsparcie procesu optymalizacji wzrastanego materiału aktywnego, zidentyfikowanie jego kluczowych parametrów i weryfikacja, czy spełnia on wymogi projektu poprzez określenie zakresu spektralnego emisji, wydajności emisji w temperaturze pokojowej, jakości optycznej i dynamiki nośników w strukturach z kropkami kwantowymi.

#### **4. Rozwój technologii i wytworzenie struktur laserowych typu VCSEL z obszarem czynnym w postaci kropek kwantowych (TUB we współpracy z Epigap). M1-M36**

Zadanie będzie realizowane w całości przez partnerów niemieckich - przez zespół z TUB we współpracy z firmą Epigap i finansowane przez stronę niemiecką.

Zadanie obejmuje rozwój technologii i wytworzenie siatek MHCG, wnęk optycznych na bazie siatek MHCG oraz struktur laserowych (pojedynczych laserów i ich matryc) zgodnie z konstrukcjami zaproponowanymi jako wynik realizacji Zad. 1 (LUT), ich charakteryzacja strukturalna (TUB), a następnie optyczna - WUST (Zad. 5). Konieczna jest praca nad optymalizacją procesów wytwarzania poszczególnych elementów struktury laserowej i docelowych laserów (Zad. 1) we współpracy z LUT i JCM (weryfikacja i w razie konieczności dostosowanie zaproponowanych konstrukcji) i WUST (weryfikacja doświadczalna parametrów optycznych wytworzonych struktur, Zad. 3). W ramach



## Współpraca Polska – Berlin/Brandenburgia, 5. konkurs

### Wzór nr 1 do Wniosku o Dofinansowanie

tego zadania zostanie rozwinięta metoda pasywacji powierzchni docelowej struktury laserowej (w celu wydłużenia żywotności chipu laserowego przez jego ochroną przed wpływem czynników zewnętrznych). Ostatnim elementem tego zadania jest rozwinięcie technologii i wytworzenie struktur laserowych zintegrowanych z piezoceramiką. Możliwości stworzenia przestrzajnego przy pomocy naprężeń lasera VCSEL zostanie zweryfikowana w ramach Zad. 5. Wynikiem realizacji Zad. 4 jest wytworzenie struktur laserowych i ich matryc spełniających wymogi projektu, które następnie zostaną przekazane do niemieckich partnerów technologicznych w celu stworzenia docelowego urządzenia z chipem laserowym zamkniętym w hermetycznej obudowie, zasilanego elektrycznie i zintegrowanego z elementem chłodzącym (Zad. 6).

#### **5. Charakteryzacja parametrów elektrycznych oraz optycznych laserów VCSEL oraz ich matryc (WUST we współpracy z TUB). M12-M36**

Realizacja tego zadania obejmuje charakteryzację optyczną siatek MHCG (pomiar odbicia z wysoką rozdzielczością przestrzenną - mikroodbicie), wnęk optycznych na bazie siatek MHCG (mikroodbicie, mikrofotoluminescencja) oraz struktur laserowych VCSEL wytworzonych w Zad. 4. WUST będzie odpowiedzialny za wyznaczenie charakterystyk spektralnych i zweryfikowanie jednorodności struktur laserowych oraz demonstrację laserowania przy pobudzaniu optycznym, a TUB za określenie charakterystyk elektrycznych, wyznaczenie prądu progowego oraz zależności mocy optycznej od prądu zasilającego. Dla zoptymalizowanych struktur laserowych oraz ich matryc (Zad. 4) określona zostanie stabilność pracy lasera oraz zakres temperatury pracy. Ostatnim elementem tego zadania będzie weryfikacja metody przestrzajania długości fali emisji lasera przy pomocy zintegrowanego piezoelementu (struktury wytworzone w ramach Zad. 4). Wynikiem realizacji tego zadania jest wsparcie procesu optymalizacji struktur laserowych i ich elementów (Zad. 4).

#### **6. Wytworzenie oraz zamknięcie w obudowach przestrzajalnych laserów VCSEL oraz ich matryc (eagleyard oraz Epigap). M1-M36**

Zadanie będzie realizowane w całości przez partnerów niemieckich - przez zespół z eagleyard we współpracy z Epigap i finansowane przez stronę niemiecką.

Zadanie obejmuje rozwój technologii zamykania w hermetycznych obudowach przestrzajalnych laserów VCSEL i ich matryc wytworzonych przez TUB (Zad. 4) oraz integracji z elementem TEC. Przeprowadzona zostanie szczegółowa charakteryzacja elektro-optyczna wytworzonych w ten sposób laserów w celu określenia wpływu zastosowanych technologii na parametry wyjściowe lasera oraz weryfikacji, czy spełniają one wymagania systemu detekcji gazów. Lasery zoptymalizowane z punktu widzenia końcowych celów projektu zostaną sprawdzone pod względem stabilności pracy i wytrzymałości, a następnie przekazane do Airopotic w celu zintegrowania z platformą systemu detekcji gazów (Zad. 7). Prace te będą prowadzone najpierw na strukturach testowych otrzymanych z TUB (Zad. 4) - standardowych laserach VCSEL z wnęką optyczną utworzoną przez zwierciadła Bragga i obszarem aktywnym w postaci studni kwantowej emitujących w zakresie 850 nm (istniejące struktury, dostępne od pierwszego miesiąca realizacji projektu dla wszystkich partnerów przemysłowych - Epigap, eagleyard i Airopotic), a na dalszym etapie realizacji projektu laserów VCSEL z obszarem aktywnym w postaci KK i siatką MHCG wytworzonych w ramach Zad. 2 (dostępne w drugim roku projektu). Wynikiem realizacji zadania jest wytworzenie przestrzajalnych laserów VCSEL i ich matryc 2x2 o pełnej funkcjonalności spełniających wymagania demonstratora i zoptymalizowanych z punktu widzenia integracji z platformą systemu detekcji gazów (Airopotic, Zad. 7).

#### **7. Zbudowanie demonstratora układu do wykrywania pary wodnej (Airopotic). M1-M36**

Celem tego zadania jest zbudowanie demonstratora układu do wykrywania pary wodnej, którego sercem będzie źródło laserowe wytworzone w Zad. 6. W ramach realizacji tego zadania konieczne będzie stworzenie dedykowanego oprogramowania i zintegrowanie urządzeń pozwalających na modulację lasera poprzez sterowanie prądem zasilającym. Dodatkowo, zbadana zostanie możliwość modulacji lasera za pomocą piezoceramiki. Istniejąca platforma czujnika gazów musi zostać przystosowana do nowej konstrukcji lasera. W pierwszych dwóch latach projektu działania te będą oparte na strukturach testowych (niespełniających jeszcze wszystkich wymogów projektu) dostarczanych przez eagleyard (Zad. 6). Docelowe zoptymalizowane struktury laserowe zostaną przetestowane z punktu widzenia zastosowań w czujnikach gazów w celu weryfikacji ich kluczowych parametrów. Lasery i ich matryce spełniające wszystkie wymagania zostaną zintegrowane i wytworzony zostanie docelowy czujnik pary wodnej. Czujnik zostanie następnie skalibrowany, a jego parametry zweryfikowane najpierw w warunkach laboratoryjnych, a następnie w warunkach bliskich warunkom przemysłowym (komora klimatyczna) i ostatecznie wykonane zostaną testy polowe czujnika. Zweryfikowana zostanie także trwałość czujnika i stabilność pracy (długoterminowa). Wynikiem realizacji Zad. 7 i całego projektu jest stworzenie demonstratora czułego systemu detekcji pary wodnej do zastosowań przemysłowych ze źródłem laserowym w postaci lasera VCSEL i matrycy takich laserów o nowej konstrukcji (z wnęką optyczną utworzoną przez zwierciadło Bragga i siatkę MHCG oraz obszarem aktywnym w postaci KK), stanowiącego tańszą i wydajniejszą alternatywę dla rozwiązań stosowanych obecnie.

#### **Lista kamieni milowych:**

- Wzrost pierwszych zoptymalizowanych struktur z KK In(Ga)As/GaAs o wysokiej jakości optycznej, wysokiej gęstości powierzchniowej KK ( $> 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ ) i emisji pokrywającej zakres spektralny 935-955 nm w temperaturze pokojowej - TUB/WUST, M12

**Współpraca Polska – Berlin/Brandenburgia, 5. konkurs**  
**Wzór nr 1 do Wniosku o Dofinansowanie**

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wytworzenie pasywnych wnęk optycznych laserów VCSEL ze zwierciadłami MHCG o wysokiej dobroci i rezonansie w zakresie (935-955) nm – WUST/TUB, <b>M15</b></li> <li>• Zoptymalizowane projekty wnęk laserów VCSEL ze zwierciadłami MHCG – LUT, <b>M18</b></li> <li>• Uzyskanie emisji laserowej w zakresie (935-955) nm z optycznie pompowanych laserów VCSEL z obszarem czynnym w postaci KK w temperaturze pokojowej – WUST, <b>M18</b></li> <li>• Pierwsze optymalizacje laserów VCSEL, metoda całki po konturze zaimplementowana – JCM, <b>M18</b></li> <li>• Wytworzenie zoptymalizowanych laserów VCSEL o mocy emitowanej 100 <math>\mu</math>W oraz przestrajalności długości fali emisji przy modulacji prądem zasilania <math>\pm 1</math> nm – TUB/Epigap <b>M24</b></li> <li>• Połączenie modeli 3D lasera VCSEL o symetrii cylindrycznej i kartezyjskiej – JCM, <b>M27</b></li> <li>• Wytworzenie zoptymalizowanych matryc laserów VCSEL o mocy emitowanej 100 <math>\mu</math>W oraz przestrajalności długości fali emisji przy modulacji prądem <math>\pm 1</math> nm na emiter – TUB/Epigap, <b>M28</b></li> <li>• Zoptymalizowany pod kątem rozprzyszczenia ciepła rozkład emiterów w matrycy laserów VCSEL – LUT, <b>M27</b></li> <li>• Wytworzenie hermetycznych modułów laserów VCSEL o spadku mocy optycznej (względem chipu) o max. 5% - eagleyard <b>M30</b></li> <li>• Wytworzenie hermetycznych modułów matryc laserów VCSEL o spadku mocy optycznej (względem chipu) o max. 5% - eagleyard <b>M32</b></li> <li>• Zintegrowanie przestrajalnego lasera VCSEL (matrycy laserów VCSEL) z układem do detekcji pary wodnej - Airopic <b>M32</b></li> <li>• Zbudowanie demonstratora układu do detekcji pary wodnej spełniającego wymagania przemysłowe - Airopic <b>M36</b></li> </ul>
30.	<p><b>Aktualny stan wiedzy na świecie w obszarze dotyczącym projektu</b></p> <p>Spektroskopowe analizatory gazów TDLS są najlepszymi obecnie systemami detekcji gazów do zastosowań przemysłowych, które łączą możliwość monitorowania procesów technologicznych in-situ z krótkim czasem odpowiedzi (pojedyncze sekundy) i niskimi kosztami utrzymania. Jest to stosunkowo tanie rozwiązanie w porównaniu z innymi metodami, np. chromatografią gazową. Analizatory TDLS charakteryzują się ponadto wysoką rozdzielczością, która pozwala na eliminację błędów wynikających z interferencji i występowania linii emisyjnych różnych gazów w tym samym zakresie spektralnym, którymi obarczone są pozostałe metody spektroskopowe. Obecnie wszystkie systemy monitorowania wilgotności in-situ oparte na przestrajalnych laserach wykorzystują półprzewodnikowe lasery krawędziowe DFB emitujące w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni. Ich jednomodowość zapewnia wytrawienie na powierzchni lasera siatki dyfrakcyjnej o submikrometrowym okresie. Wytworzenie takiej siatki wymaga zastosowania drogiej technologii o wysokim stopniu zaawansowania, co przekłada się na wysoką cenę lasera (kilka tys. EUR), co stanowi istotną część całkowitej ceny systemu detekcji gazów. Dodatkowo, lasery DFB posiadają wszystkie wady laserów o emisji krawędziowej, tj. względnie wysoki prąd progowy, silną asymetrię wiązki oraz brak możliwości testowania struktur laserowych w trakcie ich wytwarzania, a jedynie na poziomie kompletnego urządzenia, a matryca takich laserów nie może zostać wytworzona z zastosowaniem standardowego procesu fotolitografii. Dlatego właśnie wytworzenie w standardowym procesie kompatybilnym z technologią półprzewodnikową tańszego źródła laserowego o niższym prądzie progowym, spełniającego wymagania analizatorów gazów do zastosowań przemysłowych jest bardzo pożądane.</p> <p>Wnęka optyczna z siatką MHCG została zaproponowana przez polskiego partnera – LUT [T. Czystanowski et al., Nanophotonics, 9, 913 (2020)]. Ta oryginalna konstrukcja wnęki została następnie wykorzystana do wykonania pierwszego tego typu elektrycznie pompowanego lasera VCSEL z obszarem aktywnym w postaci studni kwantowej we współpracy z TUB [Gębski et al., Opt. Express, 27, 7139 (2019)]. Ta pierwsza demonstracja w warunkach laboratoryjnych (<i>ang. proof-of-principle</i>) pokazała ogromny potencjał wnęk optycznych nowego typu, będących autorskim pomysłem LUT. Niniejszy projekt pozwoli na ich optymalizację, weryfikację stosowności w nowych laserach z obszarem aktywnym w postaci KK do wyboru z szerokiego spektralnie wzmocnienia długości fali, dla której zachodzi akcja laserowa oraz zapewnienia jednomodowości lasera, zastosowanie do wytworzenia urządzenia spełniającego wymagania przemysłowe (lasera VCSEL, matryc takich laserów i opartego na nich analizatora). Wszystkie te elementy stanowią o innowacyjności projektu i tworzą oryginalny wkład w podjętą tematykę badawczą, a realizacja projektu pozwoli pokazać potencjał zaproponowanego rozwiązania w zastosowaniach przemysłowych, co będzie olbrzymim postępem w stosunku do obecnego stanu wiedzy.</p> <p>Dodatkowo, w ramach projektu zostanie przetestowana alternatywna metoda przestrajania długości fali emitowanej przez laser VCSEL poprzez przyłożenie zewnętrznego pola naprężeń generowanego przez przyłożenie napięcia do zintegrowanej piezoceramiki (<i>ang. piezo-tuning</i>). Mechanizmem przestrajania będzie w tym przypadku zmiana geometrii siatki MHCG pod wpływem naprężeń mechanicznych. Tego typu rozwiązanie nie zostało jeszcze nigdy zastosowane. Sama idea zmiany właściwości optycznych nanostruktur przy pomocy zewnętrznych naprężeń była do tej pory stosowana w przypadku pojedynczych KK [Phys. Rev. Lett. 104, 067405 (2010); Semicond. Sci. Technol. 33, 013001 (2018); Phys. Rev. Lett. 99, 195305 (2019)] oraz do pojedynczych KK we wnęce optycznej [ACS Photonics 6, 2025 (2019)], ale mechanizmem była tu zmiana potencjału wiążącego KK, a więc zupełnie inne zjawisko fizyczne, w dodatku na poziomie pojedynczego emitera kwantowego. Jedyne do tej pory zastosowanie piezo-elementu do sterowania długością pionowej wnęki optycznej polegało na umieszczeniu materiału epitaksjalnego na makroskopowym stoliku z piezo-przesuwem w przypadku wnęki z przerwą powietrzną i pojedynczą KK jako emiterem [J. Appl. Phys. 110, 053107 (2011); Appl. Phys. Lett. 105, 121105 (2014)]. W tym przypadku nie jest wykorzystywana zmiana naprężeń w strukturze, ale makroskopowy przesuw wygenerowany przez piezo-element, który zmienia odległość między zwierciadłami tworzącymi wnękę optyczną.</p>

**Współpraca Polska – Berlin/Brandenburgia, 5. konkurs**  
**Wzór nr 1 do Wniosku o Dofinansowanie**

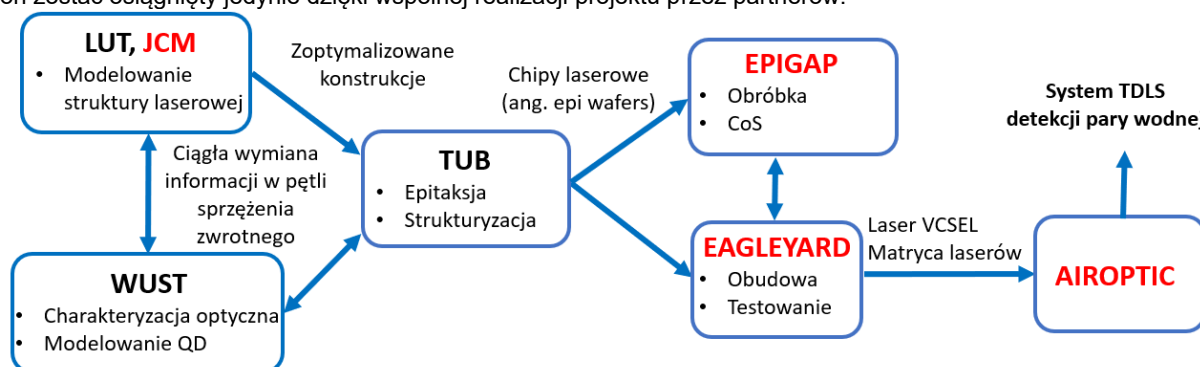
	<b>Wpływ projektu - opis możliwości praktycznego wykorzystania wytworzonej własności intelektualnej/innowacji technicznych; efekty krótkoterminowe i długoterminowe; zastosowanie wyników projektu w gospodarce, w tym możliwości komercjalizacji wyników realizowanych zadań i całego projektu przez wykonawcę w Polsce, Niemczech i/lub w Europie lub innego praktycznego ich wykorzystania; korzyści i efekty ekonomiczne; analiza potencjału rynkowego wyników projektu</b>
31.	<p>Do głównych rezultatów projektu należeć będą: opracowanie epitaksjalnej technologii wzrostu niejednorodnych zbiorów KK In(Ga)As/GaAs o wysokiej jakości optycznej i gęstości powierzchniowej emitujących w zakresie bliskiej podczerwieni (TUB, WUST), zaprojektowanie i wytworzenie siatek MHCG i w oparciu o nie - wnęk optycznych (TUB, LUT), weryfikacja możliwości zastosowania zewnętrznego pola naprężeń generowanego przez zintegrowaną piezoceramikę do zmiany długości fali emisji lasera VCSEL (TUB, WUST), opracowanie wydajnych algorytmów i metod numerycznych symulacji właściwości optycznych, elektrycznych, termicznych i mechanicznych struktur laserowych (JCM), opracowanie technologii wytwarzania i zamykania w obudowach przestrajalnych jednomodowych laserów VCSEL o niskim prądzie progowym oraz matryc takich laserów o długości fali z zakresu (935-955) nm spełniających wymagania układów do detekcji gazów (eagleyard, Epigap), konkurencyjny cenowo, pierwszy tego typu analizator pary wodnej w zastosowaniach związanych z kontrolą procesów przemysłowych (Airoptic). Wszystkie wymienione powyżej technologie są same w sobie istotne i mogą być dalej optymalizowane i rozwijane przez partnerów do innych zastosowań po zakończeniu realizacji projektu. Połączenie obszaru aktywnego w postaci KK na bazie GaAs z wnęką nowego typu wykorzystującą siatkę MHCG otwiera możliwości projektowania i wytwarzania laserów VCSEL oraz ich matryc również na inne, istotne aplikacyjnie zakresy długości fal, w szczególności na zakres ~1.3 <math>\mu</math>m stosowany w systemach telekomunikacji optycznej. Lasery takie znajdują zastosowanie w wydajnych i tańszych od obecnych analizatorach niebezpiecznych gazów istotnych w różnorodnych procesach przemysłowych, np., amoniaku, tlenku węgla, metanu oraz fluoro-, chloro- i siarkowodoru. Wytworzenie matryc takich laserów pracujących w różnych zakresach spektralnych pozwoli na stworzenie systemów umożliwiających równoczesną detekcję wielu różnych związków.</p> <p>Dzięki bogatemu i różnorodnemu doświadczeniu oraz wysokiemu stopniowi specjalizacji członków konsorcjum o idealnie uzupełniających się kompetencjach (wzrost technikami epitaksjalnymi, strukturyzacja powierzchni w skali submikronowej, nanoszenie kontaktów elektrycznych, charakteryzacja optyczna i elektryczna, symulacje komputerowe, integracja i wytwarzanie modułów laserów na bazie chipów laserowych, rozwój i komercjalizację systemów do detekcji gazów) realizacja projektu zakończy się zaprezentowaniem demonstratora systemu detekcji pary wodnej, spełniającego wymogi przemysłowe. Przewiduje się, że analizator pary wodnej zostanie skomercjalizowany przez firmę Airoptic po upływie 6 miesięcy od komercjalizacji lasera VCSEL i utrzymania założonych warunków sprzedaży przez stronę niemiecką. Maksymalna cena kompletnego źródła z elementem TEC nie powinna przekraczać 400 EUR za sztukę. Analizator zostanie wprowadzony najpierw na rynek EU oraz rynek koreański i południowo-amerykański, a po okresie 12 miesięcy na rynek północno-amerykański oraz chiński. Czas ten oszacowany jest na podstawie czasu wymaganego do uzyskania formalnego dopuszczenia i certyfikatów (CE, ATEX, CSA, KTL oraz IECEx) w poszczególnych krajach oraz przygotowanie dokumentacji technicznej, serwisowej i marketingowej oraz szkolenia dla dystrybutorów. Przewiduje się dalszy wzrost światowego rynku analizatorów TDLS na wysokim poziomie CAGR – ok. 9% i przekroczenie 500 mln USD przychodów w roku 2024. Analizatory TDLS stopniowo zastępują tradycyjne urządzenia stosowane w detekcji gazów takie jak chromatografy gazowe i bezdyspersyjne czujniki na podczerwień ze względu na niskie koszty utrzymania i wysoką niezawodność. Do największych rynków zbytu należy sektor energetyczny, chemiczny, petrochemiczny (ropa i gaz) oraz przemysł metalowy i górniczy. Ze względu na spodziewane obniżenie ceny analizatora planuje się także wprowadzenie produktu do sprzedaży w segmentach rynku, gdzie spodziewana cena zakupu nie przekroczy 5000 EUR. Takimi zastosowaniami są m.in. kontrola wilgoci w procesach nawilżania powietrza w halach przemysłowych (np. montaż elektroniki, drukarnie, chłodnie), szklarniach czy obiektach biurowych. Dzisiaj analizatory TDLS oparte na laserach złączowych ze względu na cenę nie są stosowane w tych aplikacjach. Potencjalnie rynek ten może wygenerować wolumen sprzedażowy.</p> <p>Technologia wytwarzania matryc przestrajalnych laserów VCSEL z obszarem aktywnym w postaci KK w jednym procesie technologicznym (na jednym chipie) emitujących przy różnych długościach fal może być sama w sobie interesująca dla telekomunikacji krótko zasięgowej, wielu typów laserowych źródeł światła, spektroskopii, LIDAR-ów, w czujnikach typu time-of-flight, autonomicznych pojazdach, robotach i dronach. W przypadku smartfonów laser VCSEL o długości fali 940 nm jest wykorzystywany do generacji niekoherentnego światła (poprzez rozproszenie na elemencie dyspersyjnym), pozwalającego na obrazowanie 3D. Do tego celu może zostać zastosowane zarówno pojedynczy laser tego typu, lub też cała ich matryca.</p>
32.	<p><b>Współpraca pomiędzy podmiotami konsorcjum (organizacją badawczą i przedsiębiorcą; rola w konsorcjum międzynarodowym, podział IPR); wartość dodana projektu wynikająca ze wzajemnej współpracy bilateralnej</b></p> <p>Konsorcjum Projektu QD-Sense skonstruowane zostało w oparciu o synergii kompetencji i doświadczenia partnerów oraz w sposób zbilansowany z punktu widzenia podziału zadań i nakładu pracy pomiędzy uczestnikami z Polski i Berlina, oraz pomiędzy partnerami z instytucji naukowo-badawczych o charakterze akademickim jak i przedstawicieli przemysłu związanego z technikami i technologiami fotonicznymi. Jedynie taka konstrukcja konsorcjum jest w stanie doprowadzić do jego sukcesu i powstania demonstratora optycznego analizatora pary wodnej, konkurencyjnego w stosunku do rozwiązań istniejących. Jedną z wartości dodanych tej współpracy jest fakt, że wszystkie instytucje partnerskie obu krajów będą mogły czerpać w sposób bezpośredni z wiedzy niedostępnej lokalnie, w zakresach, w których specjalizują się ośrodki partnerskie. Instytucje zaangażowane w realizację projektu są krajowymi i światowymi ekspertami w swoich dziedzinach i wniosą do projektu unikalne, specjalistyczne doświadczenie i zasoby, tj. w zakresie wytwarzania i projektowania struktur podfalowych (LUT),</p>



## Współpraca Polska – Berlin/Brandenburgia, 5. konkurs

### Wzór nr 1 do Wniosku o Dofinansowanie

modelowania właściwości optycznych struktur fotonicznych, w tym tworzenia wydajnych narzędzi symulacji i algorytmów (JCM), epitaksjalnego wzrostu materiałów półprzewodnikowych o wysokiej jakości oraz wytwarzania chipów mikrolaserów VCSEL i ich matryc (TUB), wszechstronnej charakteryzacji i modelowania struktur z KK (WUST), wytwarzania laserów na bazie chipów laserowych oraz ich wdrażania (Epigap, eagleyard) oraz wiedzy praktycznej z zakresu projektowania i komercjalizacji systemów detekcji gazów (Airoptic). Żaden z partnerów nie posiada ani wiedzy, ani doświadczenia, żeby samodzielnie zrealizować zaplanowane zadania i osiągnąć ambitne cele projektu. Praca w projekcie ma charakter liniowy (Rys. 3) w oparciu o pętlę sprzężenia zwrotnego pomiędzy poszczególnymi partnerami: każdy z partnerów przekazuje kolejnemu zoptymalizowany rezultat swojego zadania i polega na wynikach uzyskanych przez partnerów poprzedzających go w tym procesie. Sukces całego projektu wymaga od każdego z partnerów realizacji jego zadań, dlatego też bardzo ważny był wybór członków konsorcjum o bogatej wiedzy i doświadczeniu w różnych dziedzinach niezbędnych do realizacji specjalistycznych zadań na wszystkich etapach projektu. Dzięki efektowi synergii konsorcjum będzie w stanie efektywnie realizować kolejne zadania od projektowania, epitaksji i charakteryzacji materiału aktywnego, poprzez optymalizację i wytworzenie struktur laserowych, po testy docelowych laserów VCSEL, porównania z rozwiązaniami istniejącymi w danym momencie na rynku, aż po zintegrowanie lasera z platformą do detekcji gazów. Podczas realizacji kolejnych zadań partnerzy skorzystają wzajemnie ze swojego doświadczenia i wiedzy praktycznej, która nie jest dostępna w danej jednostce. Wymagania odnośnie poszczególnych elementów układu i demonstratora czujnika pary wodnej oraz parametrów do optymalizacji (także z punktu widzenia innych zastosowań istotnych w dłuższej perspektywie czasowej) będą szczegółowo dyskutowane przez wszystkich partnerów. Taki poziom dostosowania produktów pośrednich do konkretnego wymagania nie byłby możliwy komercyjnie lub też jego koszt byłby nieopłacalny. Może on zostać osiągnięty jedynie dzięki wspólnej realizacji projektu przez partnerów.



Rysunek 3. Schemat współpracy między partnerami akademickimi (na czarno) i przemysłowymi (na czerwono).

Większość partnerów już ze sobą współpracowała z sukcesem w ramach współpracy bilateralnej i przy realizacji projektów, np. TUB-WUST, LUT-TUB, LUT-WUST, JCM-TUB, EPIGAP-eagleyard, eagleyard-Airoptic, WUST-Airoptic, co zwiększa znacząco prawdopodobieństwo sukcesu obecnego przedsięwzięcia i będzie skutkowało wzmocnieniem dotychczasowej współpracy między partnerami oraz utworzeniem nowej sieci powiązań, otwierającej możliwość przyszłej współpracy także w ramach innych konkursów krajowych i międzynarodowych zarówno na projekty badawcze, jak i badawczo-rozwojowe. Równowaga pomiędzy liczbą partnerów przemysłowych i instytucji badawczych w projekcie pozwoli na uwzględnienie wymagań przemysłu w pracach badawczych oraz realizację prac badawczo-rozwojowych przez instytucje naukowe, jak również na zastosowanie i weryfikację innowacyjnych idei w pracach partnerów przemysłowych. Równowaga w liczbie partnerów z Polski i Niemiec wzmocni współpracę między krajami na wielu poziomach, dzięki wymianie osobowej, wiedzy, doświadczenia i umiejętności praktycznych między partnerami. Polskiemu partnerowi przemysłowemu otworzy dostęp do rynku z rozwiniętym przemysłem zaawansowanych technologii. W dłuższej perspektywie czasowej, oba kraje skorzystają na realizacji projektu dzięki utworzeniu sieci instytucji, które są w stanie skomercjalizować nowy produkt nieobecny na rynku - stosunkowo tani system detekcji gazów o właściwościach przewyższających obecne rozwiązania. Produkt uboczny realizacji głównego celu projektu – laser VCSEL z obszarem aktywnym w postaci KK oraz matryca takich laserów - także podlega komercjalizacji (Epigap, eagleyard), również do innych niż detekcja gazów zastosowań lub jako element innych układów optoelektronicznych.

Z czysto komercyjnego punktu widzenia, urządzenia wytworzone przez partnerów przemysłowych będą konkurencyjne względem obecnych na światowym rynku optoelektronicznych rozwiązań. Ponadto, konstrukcja analizatora pary wodnej opartego na laserach VCSEL zaproponowana w projekcie może zostać zastosowana do detekcji innych gazów stosowanych w różnych gałęziach przemysłu, co otwiera możliwości stworzenia w przyszłości całej linii nowych produktów na bazie rezultatów projektu i daje partnerom przemysłowym znaczną przewagę w tej dziedzinie dzięki doświadczeniu zdobytemu podczas realizacji projektu.

W przypadku, gdy w ramach Konsorcjum powstaną wynalazki, które mogą być objęte ochroną z tytułu praw własności intelektualnej, prawa do nich przysługiwać będą stronom wspólnie. Szczegółowo kwestie związane z podziałem tych praw, udziałem procentowym Stron, sposobem ich ochrony i reprezentacji oraz wszelkie inne kwestie związane z otrzymaniem ochrony prawnej i utrzymywaniem ich w mocy uregulowane zostaną w Umowie szczegółowej konsorcjum (na etapie składania wniosku projektowego zawarta została umowa warunkowa).