

Głównym celem projektu jest dogłębne zbadanie i szczegółowe wyjaśnienie mechanizmów fizycznych prowadzących od powstania dwóch nowych zjawisk fizycznych, które zostały odkryte we współpracy z grupą profesora Dmitrija Yakovleva z Politechniki w Dortmundzie w trakcie realizacji naszego poprzedniego projektu Harmonia w latach 2015-2018 i opisane w dwóch publikacjach w Nature Physics [V.L. Korenev et al., "Long-range p-d exchange interaction in a ferromagnet-semiconductor hybrid structure", Nature Physics 12, 85 (2016); S. Spitzer et al., "Routing the emission of a near-surface light source by a magnetic field", Nature Physics, (<https://doi.org/10.1038/s41567-018-0232-7>) (2018)]. Są to:

- Efekt sterowania kierunkiem wiązki optycznej generowanej w studni kwantowej za pomocą zewnętrznego pola magnetycznego prostopadłego do kierunku wiązki (ang. Transverse magnetic routing of light emission (TMRLE)),
- Efekt długo-zasięgowego sprzężenia spinowego pomiędzy elektronami zlokalizowanymi w studni kwantowej oraz elektronami zlokalizowanymi w warstwie ferromagnetycznej umieszczonej w jej pobliżu (ang. ferromagnetic proximity effect).

Zjawiska te łączy to, że występują one tylko w strukturach hybrydowych, złożonych z części półprzewodnikowej i części metalicznej. W części półprzewodnikowej, bardzo płytko pod powierzchnią (od kilku do kilkunastu nanometrów), umieszczona jest studnia kwantowa, z której emitowane jest światło będące wynikiem rekombinacji wzbudzonych nośników ładunku tworzących kompleksy ekscytonowe. Na powierzchni półprzewodnika umieszczona jest cienka warstwa metaliczna. Odległość warstwy metalicznej od studni kwantowej jest na tyle mała, że elektrony zlokalizowane w studni i metalu wzajemnie oddziałują. To oddziaływanie (elektryczne i magnetyczne) powoduje, że struktury hybrydowe wykazują nowe własności będące kombinacją właściwości obu materiałów, z których są zrobione. Nasze badania mają na celu poznanie tych właściwości oraz mechanizmów prowadzących do nowych zjawisk fizycznych występujących w strukturach hybrydowych. Liczymy, że wiedza ta przyczyni się do przyszłych zastosowań struktur hybrydowych w praktyce. Na przykład, sterowanie kierunkiem wiązki światła polem magnetycznym może być wykorzystane do budowy optycznych obwodów logicznych lub pamięci magneto-optycznych. Natomiast ferromagnetyczne struktury hybrydowe wykazujące efekt długo-zasięgowego sprzężenia spinowego pomiędzy studnią kwantową a ferromagnetykiem mogą stać się krokiem milowym na drodze do stworzenia nowej generacji przyrządów magneto-elektronicznych, w których pamięć magnetyczna i elektroniczne przetwarzanie danych będą zachodzić w tym samym nano-elemente.

W celu przeprowadzenia planowanych badań w Instytucie Fizyki PAN projektowane i wytwarzane będą struktury hybrydowe złożone ze studni kwantowych CdTe lub CdMnTe z barierami CdMgTe. Na ich atomowo czystej powierzchni naparowane zostaną warstwy metaliczne. W przypadku efektu magnetycznego sterowania kierunkiem wiązki (TMRLE) będą to warstwy złota osadzone na powierzchni struktury pokrytej rezystem, w którym za pomocą litografii elektronicznej zdefiniowany zostanie odpowiedni wzór siatki. Ten wzór przeniesiony zostanie na powierzchnię półprzewodnika techniką „lift-off”. W takiej strukturze będą tworzyły się i rozchodziły wzbudzenia będące połączeniem oscylacyjnego ruchu ładunku (elektronów) i generowanej tym ruchem fali elektromagnetycznej, tzw. polaritony plazmowe. Dzięki obecności części elektronicznej polaritony posiadają spin, który może się sprzęgać z zewnętrznym polem magnetycznym. Dzięki temu sprzężeniu możliwe staje się sterowanie kierunkiem emisji ze studni kwantowej za pomocą pola magnetycznego. W naszych badaniach będziemy starali się wzmocnić i uzyskać większą kontrolę nad zjawiskiem sterowania kierunkiem emisji poprzez wytwarzanie nowych struktur modyfikowanych zarówno w części półprzewodnikowej (szerokość studni, zawartość Mn, odległość studni od powierzchni) i części metalicznej (okres i wzór siatki metalicznej).

W strukturach hybrydowych Co/CdTe/CdMgTe zaobserwowana została polaryzacja ekscytonów w studni kwantowej, mimo iż ferromagnetyczna warstwa kobaltu, choć bliska, oddalona była od studni na odległość większą niż rozmiar funkcji falowej ekscytonu. W naszej pracy sugerujemy, że moment magnetyczny przenoszony jest poprzez fonony. Tę hipotezę chcemy sprawdzić eksperymentalnie. Badania będą polegały na wytworzeniu nowych struktur, np. z innym ferromagnetykiem. Ponadto, chcemy polaryzować struktury polem elektrycznym i sprawdzić, jak pole elektryczne wpływa na to zjawisko. W tym celu zostaną wytworzone struktury hybrydowe na podłożach przewodzących i wyposażonych w kontakty elektryczne.

Wszystkie struktury hybrydowe badane będą zaawansowanymi metodami magneto-optycznymi w Dortmundzie. Stosowane będą metody takie, jak magneto-optyczny efekt Kerra, efekt Faradaya, rozdzielone w czasie i stacjonarne pomiary fotoluminescencji etc. Zespół z Dortmundu jest uznanym na całym świecie liderem w zakresie stacjonarnych i czasowo-rozdzielczych badań nanostruktur półprzewodnikowych. Zespoły z Dortmundu i Warszawy ściśle ze sobą współpracują od ponad 20 lat. W rezultacie tej współpracy opublikowano ponad 80 wspólnych publikacji. Realizacja poprzedniego projektu Harmonia zakończyła się publikacją ponad 25 artykułów. Sukcesy tej współpracy wynikają z faktu, że oba zespoły są komplementarne, bardzo doświadczone, doskonale wyposażone aparaturowo i należą do wiodących w swoich specjalnościach.