

Nadprzewodniki mają niewielką przerwę w gęstości stanów spowodowaną kondensacją elektronów w pary Coopera poniżej temperatury krytycznej. Jednak pojedyncze atomy zaadsorbowane na elementarnych nadprzewodnikach często wykazują silne sprzężenie z elektronami podłoża (sprzężenie Kondo) i tworzą nowe stany w przerwie energetycznej zwane stanami związanymi Yu-Shiba-Rusinov (YSR). Stany YSR sąsiadujących domieszek magnetycznych mogą ze sobą oddziaływać, jeśli ich funkcje falowe w nadprzewodniku przenikają się wzajemnie. To sprzężenie prowadzi do powstania pasm energetycznych YSR, które wraz z zaburzeniem odwrotnej symetrii czasowej mogą prowadzić do stanu nadprzewodnictwa topologicznego. Postuluje się, że nadprzewodniki topologiczne mogą być medium dla fermionów Majorany. Ponieważ zawsze są co najmniej dwie kwazicząstki fermionów Majorany w tym samym stanie kwantowym, występujące dzięki temu sprzężenie kwantowe pozwala na realizację obliczeń kwantowych i jest celem pionierskich badań w zakresie nadprzewodnictwa w skali nanometrowej. Do inżynierii pasm YSR zatem, konieczna jest precyzyjna wiedza na temat ekspansji przestrzennej pojedynczych stanów związanych YSR w nadprzewodniku. Niektóre podłoża takie jak La(0001) zapewniają medium dla dalekozasięgowych stanów YSR, podczas gdy inne takie jak np.: Nb(110) mają bardzo ograniczony zasięg sięgający około dwóch odległości atomowych podłoża. Dotychczas większość badań realizowana była na jednym z trzech dostępnych podłoży: Pb(111), Nb(110) oraz Nb₂Se. W celu głębszego poznania różnic w ekspansji przestrzennej stanów YSR konieczne jest znalezienie nowatorskiego podłoża nadprzewodzącego, które jest bierne chemicznie, posiada eksperymentalnie osiągalną temperaturę krytyczną oraz energię wiązania par Coopera na poziomie energii wzbudzenia spinowego.

W ostatnim czasie wynalezione zostało kilka materiałów 2D, m.in.: grafen, heksagonalny azotek boru o grubości jednej warstwy atomowej (hBN), pojedyncza warstwa dichalkogenów metali przejściowych (TMD), która składa się tylko z trzech warstw atomowych budujących strukturę. Właściwości elektronowe tych materiałów znacznie różnią się między sobą, zaczynając od półmetalicznego grafenu o ogromnych prędkościach elektronów wynikających ze struktury pasmowej Dirac'a po hBN z jego szeroką przerwą energetyczną. Ze względu na dwuwymiarowy charakter tych materiałów, zewnętrzne bodźce mogą jednorodnie oddziaływać na całą próbkę, ułatwiając tym samym inżynierię materiałową. Jednym z najsilniejszych bodźców dla systemów 2D jest ich hybrydyzacja z innym materiałem.

Nadprzewodnictwo indukowane przez efekt zbliżeniowy zostało zbadane przy użyciu STM w kilku układach, takich jak: krzem zwilżony ołowiem obok wysp Pb wyhodowanych na Si(111), grafen wyhodowany na Re lub MoS₂ na Pb. W eksperymentach przy użyciu skaningowej spektroskopii tunelowej zwilżającej warstwy Pb, nadprzewodząca przerwa energetyczna szybko się zmniejsza podczas próbkowania w funkcji odległości od krawędzi wyspy Pb. Sytuacja wygląda inaczej w obu systemach 2D. Wszystkie atomy węgla w grafenie znajdują się w bliskiej odległości od podłoża nadprzewodzącego i oczekuje się, że zmiany w sprzężeniu atomów węgla z nadprzewodnikiem wynikające z sieci moiré będą prawie zaniedbywalne. Bardzo podobną sytuację obserwuje się w MoS₂ na Pb, jednak tutaj zaobserwowano niewielkie różnice w intensywności pików koherencji. W obu przypadkach pośladowanie moiré jest bardzo małe, rzędu 10-20 pm. Niemniej jednak, lokalne spektroskopie tunelowe zarejestrowane w szerokim zakresie energii pokazują znaczące różnice w gęstości lokalnych stanów elektronowych między doliną a szczytem moiré.

Głównym celem projektu jest uzyskanie nowatorskiej platformy dla stanów związanych Yu-Shiba-Rusinov pochodzących od relatywnie słabo związanych pojedynczych adsorbatów, które mogą potencjalnie posiadać bardzo krótkozasięgowe funkcje falowe w nadprzewodniku, pozwalające na efektywną inżynierię pasm YSR. Aby osiągnąć wyznaczony cel, proponujemy wykorzystanie wyjątkowych właściwości materiałów 2D, takich jak materiał Diracowski - grafen, półprzewodniki TMD z różnymi przerwami pasmowymi lub hBN, oraz ich modyfikację poprzez nadprzewodzący efekt zbliżeniowy pochodzący od nadprzewodników elementarnych. Ponieważ nadprzewodniki elementarne są łatwo zanieczyszczane, zastosowana zostanie nowa technologia wzrostu - wzrost odwrotny. Nadprzewodnictwo zbliżeniowe w połączeniu z chemicznie obojętnym charakterem materiałów 2D powinno zapewnić dostrajalną hybrydyzację oraz szereg układów charakteryzujących się stanami YSR o różnej ekspansji przestrzennej. Dzięki tym nowatorskim materiałom stworzymy nową platformę do obliczeń kwantowych.