

Kvantno računalništvo s spini na 2D azafulerenskih mrežah: od zasnove do optimizacije

Oznaka in naziv projekta

J1-70050 Kvantno računalništvo s spini na 2D azafulerenskih mrežah: od zasnove do optimizacije
J1-70050 Spin Quantum Computing with a 2D Azafullerene Arrays: From Design to Optimization

Logotipi ARIS in drugih sofinancerjev



Projektna skupina

Vodja projekta: prof. dr. Denis Arčon

Sodelujoče raziskovalne organizacije: [1554 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za UL FMF in fiziko](#)

Sestava projektne skupine: [Povezava na SICRIS](#)

Vsebinski opis projekta

Projekt se osredotoča na realizacijo dvodimenzionalnih (2D) nizov kvantnih bitov (kubitov) z uporabo inovativnih eksperimentalnih pristopov za učinkovito naslavljanje in manipulacijo njihovih spinov, ki so ključnega pomena za kvantno računalništvo. Osrednja ideja projekta temelji na: (i) molekularnih kubitih, povezanih z nesparjenim elektronom, lokaliziranim na ogljikovem atomu poleg dušikovega atoma v radikalih azafulerena ($C_{59}N$), in (ii) naših nedavnih dosežkih pri načrtovanju razsežnih 2D nizov stabilnih supramolekularnih spinov s prilagojenimi strukturnimi lastnostmi za ustvarjanje sklopljenih kvantnih bitov iz azafulerenov.

Za načrtovanje 2D nizov molekularnih kvantnih bitov bomo uporabili razred organskih radikalov, ki temeljijo na azafulerenih in so ujeti v molekularnih nano-obročih za zagotovitev optimalne zaščite in stabilizacije. Naš pristop vključuje inovativen dvofazni sintezni proces. Najprej bomo sestavili 2D predlogo molekul z željeno simetrijo na skrbno izbranem kristalnem substratu. Nato bomo radikale azafulerena nanесли na površino v ultravisokem vakuumu. Z izkoriščanjem molekularne ujemajoče se povezave med $C_{59}N$ radikali in molekulami v predložni plasti želimo doseči epitaksialno ujetje $C_{59}N$ in zaščito spinov v geometriji kompleksa gostitelj-gost. Ta strategija nam bo omogočila oblikovanje 2D nizov kvantnih bitov z natančno prilagojenimi jakostmi in anizotropijo interakcij.

Projektna skupina, ki jo sestavljajo dva akademska in en industrijski partner, si prizadeva uvesti inovativne eksperimentalne tehnike za algoritme branja/pisanja molekularnih kvantnih bitov z najsodobnejšo občutljivostjo in ločljivostjo. Upravljanje in manipulacija spinov molekul bo dosežena s kombinacijo metod spin resonance in vrstične tunelske spektroskopije (ESR-STM), kjer zunanji magnetni tok odpravi degeneracijo spinov, mikrovalovna vzbujanja pa sprožijo spinske prehode. Branje posameznih kvantnih bitov z atomsko ločljivostjo je mogoče nato izvesti z merjenjem tunelskih tokov z uporabo spin-polarizirane konice.

Poleg tega načrtujemo še bolj ambiciozen pristop za branje spinov v 2D nizih kvantnih bitov z uporabo nove optične tehnike, ki temelji na atomskih magnetometrih. Dušikove vrzeli (NVC) v diamantnih mrežah so pokazale zmožnost zaznavanja izjemno šibkih magnetnih polj v širokem frekvenčnem območju prek njihove optične odzivnosti. Z uporabo optičnega odziva diamantnih sond z namensko vsajenimi NVC-ji ta metoda ponuja zelo občutljivo in natančno lokalno sondo za branje spinov kvantnih bitov. Omogoča zaznavanje spinov z nanometrsko ločljivostjo, ki ustreza prostorskim dimenzijam posameznih blokov kvantnih bitov v naših supramolekularnih nizih spinov.

Nazadnje bomo uporabo zaznavanja NVC uporabili na 2D nizu kvantnih bitov azafulerenov kot eksperimentalno demonstracijo kvantnega računalništva z rezervoarji. Pri tem pristopu rezervoar sestavljajo dipol-dipol sklopljeni spini kvantnih bitov v nizu azafulerenov, ki jih je mogoče manipulirati z RF pulzi, uglasenimi na Larmorjeve frekvence kvantnih bitov. Začetne informacije bodo kodirane v spinovskem stanju povezanih kvantnih bitov s sekvenco RF pulzov. Po aplikaciji sekvence pulzov na rezervoarju kvantnih bitov bo časovni razvoj njegovega spinskega stanja, zaznan z NVC kvantnimi senzorji, služil kot izhod. Ti podatki bodo nato uporabljeni za učenje in pridobivanje informacij iz izhodnih signalov rezervoarja z linearno regresijo.

Osnovni podatki sofinanciranja so dostopni na spletni strani [SICRIS](#).

Faze projekta in opis njihove realizacije

1. Faza Dvodimenzionalne mreže molekularnih kubitov z zasnovanimi strukturami
2. Faza Razvoj in eksperimentalno preverjanje instrumentacije
3. Faza Uvajanje kvantnih algoritmov na dvodimenzionalni mreži molekularnih kubitov

Bibliografske reference

- KLADNIK, Gregor, BAVDEK, Gregor, TANUMA, Yuri, MIDDEN, Marion van, ZUPANIČ, Erik, ANÉZO, Bastien, ARČON, Denis, CVETKO, Dean, et al. [Engineering 2D spin networks by on-surface encapsulation of azafullerene radicals in nanotemplates](#). *Nature communications* **16**, 193 (2025)