

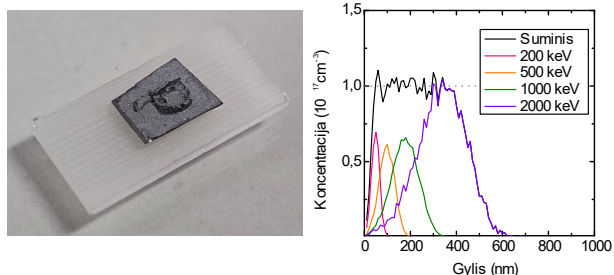
^{171}Yb jonų, implantuotų į CaWO_4 paviršių, EPR tyrimai

EPR study of ^{171}Yb ions implanted in CaWO_4 surface

Justinas Turčak¹, Vidmantas Kalendra¹, Jūras Banys¹, Mantas Šimėnas¹
¹Vilniaus universitetas, Fizikos fakultetas, Saulėtekio al. 9, LT-10222 Vilnius
justinas.turcak@ff.vu.lt

Viena perspektyviausių kvantinių technologijų platformų yra elektronų sukinių kietojo kūno matricose [1, 2]. Jie pasižymi pakankamai ilgu koherentiškumo laiku, bet taip pat ir galimybe būti valdomi mikrostruktūromis, tokiais kaip mikrorezonatoriai [3]. Siekiant užtikrinti efektyvią sąsają tarp sukinių ir tokios magistralės, elektronų sukiniai turi būti labai arti (iki kelių šimtų nanometrų gylyje) medžiagos paviršiaus. Tai gali būti pasiekama implantuojant paramagnetinius jonus į dielektrikų paviršius. Didelės energijos implantavimo metu sukuriama struktūriniai defektai, kurie mažina aktyvių paramagnetinių centrų kiekį ir trumpina koherentiškumo laiką. Šios problemos sprendžiamos medžiagas atkaitinant aukštoje temperatūroje, kuri leidžia gardelei nurelaksuoti į tvarkingą struktūrą. Visgi atkaitinimo tyrimai yra gana reti, todėl dažnai optimalūs įvairių medžiagų atkaitinimo parametrai nėra žinomi.

Čia pristatomas iterbio jonų, implantuotų į kalcio volframato (CaWO_4) paviršių, elektronų paramagnetinio rezonanso (EPR) spektroskopijos tyrimas. Iterbio paramagnetiniai centrai yra daug žadantys sukinių kubitai, kadangi iterbis, būdamas retųjų žemių metalu, turi ypač ilgą koherentiškumo laiką dėl apsaugotų f-lygmens elektronų [4]. CaWO_4 taip pat pasižymi puikiomis tokių kubitų matricos savybėmis – ši medžiaga turi itin mažą izotopų su branduolių sukinių kiekį. Iterbis buvo implantuojamas iki 500 nm gylio su pastovia 10^{17} cm^{-3} jonų koncentracija (žr. 1 pav.). Visas jonų kiekis ($\sim 10^{12}$) bandiniuose skiriasi priklausomai nuo jų dydžio.

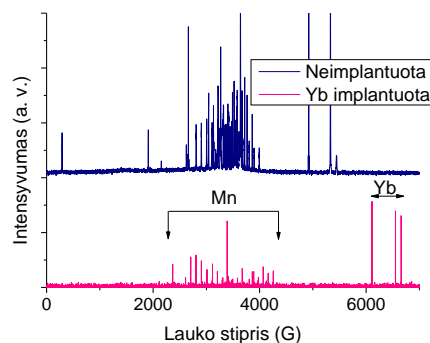


1 pav. CaWO_4 bandinys, kurio dydis 8 mm x 3.8 mm x 0.6 mm, ir silicio, legiruoto su fosforu, bandinys (kairėje). Kartu pateikiamas iterbio implantavimo profilis (dešinėje).

Atkaitinimo efektai buvo tiriami atliekant atkaitinimą su SNOL 0,2/1200 krosnimi: vienas iš bandinių buvo atkaitinamas 800 °C temperatūroje 1, 4 ir 13 valandų, suminiam 1, 5 ir 18 valandų atkaitinimui, o kitas bandinys buvo atkaitinamas 1250 °C temperatūroje su tais pačiais atkaitinimo laikais. Skirtingų atkaitinimo

procedūrų efektai buvo tiriami matuojant koherentiškumo laikus ir sukinių koncentraciją bandiniuose. Matavimai buvo atliekami X srities mikrobangų ruože ($\sim 9.5 \text{ GHz}$). Jautrumo pagerinimui, buvo naudojamas modifikuotas kriogeninis stiprintuvas [5] ir eksperimentai buvo atliekami bandinius atšaldant iki žemų temperatūrų ($< 10 \text{ K}$). Koherentiškumo laikas buvo nustatomas matuojant Hahn aido slopimo eksperimentą. Sukinių koncentracija buvo įvertinta lyginant EPR spektro intensyvumą su Si:P etalonu.

CaWO_4 kristalo EPR spektras yra pateiktas 2 pav. su ir be implantuoto iterbio. Atlikus spektrinį modeliavimą, buvo nustatytos iterbio linijos. Taip pat kartu buvo stebėti paramagnetiniai Mn^{2+} centrai, kurių prigimtis nėra aiški. Taip pat nustatyta, kad kartu su ^{171}Yb buvo implantuoti ir kiti iterbio izotopai.



2 pav. Iterbiu implantuoto (viršuje) ir neimplantuoto (apačioje) CaWO_4 spektrai.

^{171}Yb tyrimui buvo pamatuota temperatūrinė koherentiškumo laiko priklausomybė 4,5 – 15 K temperatūrų ruože. Naudojant EPR spektroskopiją nustatyti iki 0,3 ms koherentiškumo laikai ir iki 32 % sukinių aktyvacija.

Reikšminiai žodžiai: atkaitinimas, elektronų sukiniai, koherentiškumo laikas, EPR.

Literatūra

- [1] A. M. Tyryshkin et al., Electron spin coherence exceeding seconds in high-purity silicon, *New Materials*, 12, 143-147 (2012).
- [2] G. Wolfowicz et al., Atomic clock transitions in silicon-based spin qubits, *Nature technology*, 8, 561-564 (2013).
- [3] J. O'Sullivan et al., Spin-Resonance Linewidths of Bismuth Donors in Silicon Coupled to Planar Microresonators, 14, 064050 (2020).
- [4] U. Ranon and V. Voltera, Paramagnetic Resonance of Yb^{3+} in CaWO_4 , *Phys. Rev.* 134, A1483 (1964).
- [5] M. Šimėnas et al., A sensitivity leap for X-band EPR using a probehead with a cryogenic preamplifier, *Journal of Magnetic Resonance*, Volume 322, 106876 (2021).