

1 Abstract

Hybrid quantum systems offer a promising platform to study quantum phenomena that benefit from the individual strengths of their components. Here, we present a novel hybrid quantum platform composed of solid cryogenic gas crystals doped with spin impurities and superconducting resonators. The cryogenic gas crystals provide a soft, inert, predominantly spin-0 host matrix for atomic impurities, minimizing decoherence and offering an exceptionally clean quantum environment. Meanwhile, the embedded alkali atoms feature addressable hyperfine transitions in the GHz regime, enabling direct coupling to superconducting microwave circuits. We demonstrate the ability to reach the strong coupling regime between the impurity ensemble and the superconducting resonator at millikelvin temperatures, as well as perform coherence time measurements to show the viability of this system for quantum information processing. This platform provides a unique architecture for exploring fundamental quantum effects, developing hybrid quantum memories, and advancing quantum sensing technologies.

2 Zusammenfassung

Hybride Quantensysteme bieten eine vielversprechende Plattform zur Untersuchung von Quantenphänomenen, die von den individuellen Stärken ihrer Komponenten profitieren. In dieser Arbeit präsentiere ich ein neuartiges hybrides System bestehend aus festen, kryogenen Gas-Kristallen, dotiert mit Spin-Verunreinigungen, und supraleitenden Resonatoren. Die kryogenen Gas-Kristalle bilden eine weiche, inerte, überwiegend spinfreie Wirtsmatrix für atomare Verunreinigungen, minimieren die Dekohärenz und bieten eine außergewöhnlich saubere Quantenumgebung. Die eingebetteten Alkaliatome weisen adressierbare Hyperfeinübergänge im GHz-Bereich auf, die eine direkte Kopplung an supraleitende Mikrowellenresonatoren ermöglichen. Ich demonstriere die Fähigkeit, das starke Kopplungsregime zwischen dem Verunreinigungsensemble und dem supraleitenden Resonator bei Millikelvin-Temperaturen zu erreichen und führen Kohärenzzeitmessungen durch, um die Eignung dieses Systems für die Quanteninformationsverarbeitung zu zeigen. Diese Plattform bietet eine einzigartige Architektur zur Erforschung fundamentaler Quanteneffekte, zur Entwicklung hybrider Quantenspeicher und zur Weiterentwicklung von Quantensensortechnologien.