

## Sommario

Questa tesi nasce con l'obiettivo di realizzare un apparato sperimentale per lo studio dell'*effetto Zeeman* su difetti reticolari allo stato solido.

Il sistema fisico utilizzato per lo sviluppo e la validazione dell'apparato energetico è il complesso *azoto-vacanza* in diamante.

Il *centro NV* è un difetto puntuale in cui un atomo di carbonio nel reticolo cristallino del diamante viene sostituito da un atomo di azoto  $[N]$  e un sito reticolare adiacente viene lasciato vuoto  $[V]$ . L'unicità di tale struttura risiede nella possibilità di manipolazione a temperatura ambiente attraverso fattori esterni quali campi elettromagnetici e microonde che risultano in risonanze nell'intensità della *fotoluminescenza* del campione. Le proprietà di spin del complesso lo rendono un *magnetometro* naturale, infatti, grazie allo schema energetico, composto da due tripletti di spin e due singoletti intermedi, l'applicazione di un campo magnetico esterno comporta, per effetto Zeeman, frequenze di risonanza differenti tra le transizioni  $[m_s = 0 \rightarrow m_s = +1]$  e  $[m_s = 0 \rightarrow m_s = -1]$ , con  $m_s$  numero quantico di spin.

Le caratteristiche di tale difetto reticolare sono state studiate utilizzando un microscopio confocale in fotoluminescenza ad alta sensibilità, realizzato appositamente nel corso dell'attività di Tesi.

Il campione in esame è costituito da un cristallo in diamante contenente un *ensemble* ad elevata densità di centri NV. La validazione della risposta *PL* è stata svolta utilizzando un diodo laser a lunghezza d'onda di eccitazione di  $\lambda = 520\text{nm}$ , appositamente assemblato. Lo spettro, analizzato mediante un monocromatore, si è dimostrato coerente con le posizioni, riportate in letteratura, relative alla *ZPL* ed alla *banda fononica*.

Per l'analisi delle peculiarità magnetiche il campione è posizionato su un antenna ottimizzata che permette la scansione in frequenze. Si adopera la tecnica *ODMR* che consiste in una combinazione dell' *ESR*, *electronic-spin-resonance*, e della *PL*, analisi ottica della fotoluminescenza. Data la configurazione del reticolo cristallino del diamante e delle struttura dell'*INGV* si evince come, date le possibili quattro orientazioni, l'effetto del campo solenoidale, espresso dallo *splitting* tra le coppie di risonanze, presenti quattro componenti distinte visualizzabili nello spettro ODMR. Si ottiene dunque una tecnica particolarmente precisa per misurare vettorialmente il campo magnetico circostante al campione.

Il metodo di rilevazione magnetometrica sopra citato si è dimostrato attendibile, come conferma il paragone con i dati di una *sonda di Hall*.

Dalla letteratura il *centro NV* presenta un asse di *splitting Zeeman* a  $\nu = 2.87\text{GHz}$ , ma ciò è strettamente applicabile a complessi il cui asse risulta perfettamente allineato con quello della radiazione, mentre nella situazione in analisi, date le molteplici orientazioni, le risonanze visualizzate nello spettro subiscono una traslazione presentando  $\nu$  differenti. Dal confronto con il modello teorico è stato ricavato l'effettivo angolo presente tra gli assi del reticolo cristallino ed il

campo magnetico esterno.

Infine, l'impiego di un apparato di misura (eccitazione laser, generazione di microonde) dotato di un'elettronica di controllo con risoluzione temporale dell'ordine del nanosecondo fornisce in prospettiva la possibilità di operare un controllo coerente con eccitazione ottica sullo stato di spin di un ensemble di difetti otticamente attivi, con importanti applicazioni future nel campo della sensoristica e del processamento dell'informazione quantistica.

Questa tesi nasce con l'obiettivo di realizzare un apparato sperimentale per lo studio dell'*effetto Zeeman* su difetti reticolari allo stato solido.

Il sistema fisico utilizzato per lo sviluppo e la validazione dell'apparato energetico è il complesso *azoto-vacanza* in diamante, difetto puntuale dato dall'inserimento di un atomo di azoto nel reticolo cristallino del diamante.

Le proprietà di spin del complesso lo rendono un *magnetometro* naturale, infatti, grazie allo schema energetico, composto da due triplette di spin e due singoletti intermedi, l'applicazione di un campo magnetico esterno comporta, per effetto Zeeman, frequenze di risonanza differenti tra le transizioni da stati a spin nullo verso stati a spin up e down.

Le caratteristiche di tale difetto reticolare si studiano utilizzando un microscopio confocale in fotoluminescenza ad alta sensibilità, realizzato appositamente nel corso dell'attività di Tesi.

Il campione in esame è costituito da un cristallo in diamante contenente un *ensemble* ad elevata densità di centri NV. La validazione della risposta *PL* si svolge utilizzando un diodo laser a lunghezza d'onda di eccitazione di  $\lambda = 520\text{nm}$ , appositamente assemblato. Lo spettro, analizzato mediante un monocromatore, si dimostra coerente con le posizioni, riportate in letteratura, relative alla *ZPL* ed alla *banda fononica*.

Per l'analisi delle peculiarità magnetiche il campione è posizionato su un antenna ottimizzata che permette la scansione in frequenze. Si adopera la tecnica *ODMR* che consiste in una combinazione dell' *ESR*, *electronic-spin-resonance*, e della *PL*, analisi ottica della fotoluminescenza, in modo da avere un *pairing* tra frequenze *MW* e campo magnetico. Data la configurazione del reticolo cristallino del diamante e delle struttura dell'*INGV* si evince come, date le possibili quattro orientazioni, l'effetto del campo solenoidale, espresso dallo *splitting* tra le coppie di risonanze, presenti quattro componenti distinte visualizzabili nello spettro ODMR. Si ottiene dunque una tecnica particolarmente precisa per misurare vettorialmente il campo magnetico circostante al campione.

Tale metodo di rilevazione magnetometrica si dimostra attendibile, come conferma il paragone con i dati di una *sonda di Hall*.

Dalla letteratura il *centro NV* presenta un asse di *splitting Zeeman* a  $\nu = 2.87\text{GHz}$ , ma ciò è strettamente applicabile a complessi il cui asse risulta perfettamente allineato con quello della radiazione, mentre nella situazione in analisi, date le molteplici orientazioni, le risonanze visualizzate nello spettro subiscono una traslazione presentando  $\nu$  differenti. Dal confronto con il modello teorico è stato ricavato l'effettivo angolo presente tra gli assi del reticolo cristallino ed il campo magnetico esterno.

Infine, l'impiego di un apparato di misura (eccitazione laser, generazione di microonde) dotato di un'elettronica di controllo con risoluzione temporale dell'ordine del nanosecondo fornisce in prospettiva la possibilità di operare un controllo coerente con eccitazione ottica sullo stato di spin di un ensemble di difetti otticamente attivi, con importanti applicazioni future nel campo della sensoristica e del processamento dell'informazione quantistica.