



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Magnetism and magnetization dynamics in thin film ferromagnets

Verhagen, T.G.A.

Citation

Verhagen, T. G. A. (2014, February 26). *Magnetism and magnetization dynamics in thin film ferromagnets*. *Casimir PhD Series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/24306>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/24306>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/24306> holds various files of this Leiden University dissertation

Author: Verhagen, T.G.A.

Title: Magnetism and magnetization dynamics in thin film ferromagnets

Issue Date: 2014-02-26

Samenvatting

Gedurende de laatste dertig jaar is er een enorme toename geweest in fundamenteel en toegepast onderzoek naar zeer dunne gestapelde lagen van ferromagneten en normale metalen. Deze dunne lagen worden veelvuldig bestudeerd, omdat in deze systemen al bij kamertemperatuur grote veranderingen meetbaar zijn in de elektrische transport eigenschappen onder invloed van kleine magnetische velden. Dit wordt tegenwoordig toegepast in geïntegreerde schakelingen, zoals een magnetische uitleeskop van harde schijven, magnetisch geheugen en sensoren.

Sinds de jaren zestig heeft onderzoek in het veld van dunne gestapelde lagen van halfgeleiders laten zien, dat het mogelijk is structuren te creëren (licht-emitterende diodes of LEDs) die zichtbaar, infrarood of ultraviolet licht kunnen uitzenden. Een LED is een miniatuur schakeling waar een halfgeleider met een overschot aan elektronen is gecombineerd met een halfgeleider met een overschot aan gaten. Door hier een stroom door te sturen, ontstaat een niet-evenwichtsverdeling van de elektronen en gaten. Relaxatie van deze niet-evenwichts toestand vindt plaats door recombinatie van een elektron en een gat, waarbij een foton wordt uitgezonden.

Recent heeft Kadigrobov voorgesteld om bovenstaande twee ontwikkelingen te combineren en een ferromagnetische LED te bouwen, die als eigenschap heeft dat het ook straling kan uitzenden in het zogenaamde terahertz-gat. Het terahertz-gat is het deel van het elektromagnetische spectrum van 300 gigahertz tot ongeveer 30 terahertz, waarin het met bestaande technieken zeer lastig is om straling te genereren. In dit proefschrift wordt onderzocht of het mogelijk is om zo'n schakeling te bouwen.

In de ferromagnetische LED brengen gebruiken we geen niet-evenwichtsverdeling van elektronen en gaten, maar een niet-evenwichtsverdeling van elektronen met spin-op en spin-neer. Deze verdeling kan relaxeren

door het omdraaien of flippen van de spin en het uitzenden van een foton. Deze schakeling kan dan ook een spin-flip LED of laser genoemd worden. In **hoofdstuk 1** en **hoofdstuk 2** worden de theorie en recente ontwikkelingen in dit veld beschreven.

Een manier om een spin-flip laser te maken is door middel van het injecteren van een hele hoge stroomdichtheid van elektronen vanuit een ferromagneet in een normaal metaal. Als er nu ook een extern magneetveld wordt ingeschakeld, waarvan de veldrichting tegenovergesteld is aan de richting van de magnetisatie van de ferromagneet, dan bevinden de spins zich in een niet-evenwichtsverdeling. Er is een kans dat er spins relaxeren door middel van het uitzenden van een foton. In **hoofdstuk 3** worden een aantal puntcontact-spectroscopie experimenten beschreven, die uitgevoerd zijn als de eerste stappen voor het waarnemen van straling die in het puntcontact gegenereerd wordt. Experimenteel bleek het echter niet mogelijk te zijn om signalen van de gewenste spin ophoping te zien in het puntcontact.

De ferromagneet die gebruikt is bij de spin-flip laser experimenten is

SmCo_5 , een harde ferromagneet met een groot coërcief veld. Dit is nodig omdat het externe magnetische veld tegen de magnetisatie van de ferromagnet in staat. In hoofdstuk 4 beschrijven we hoe we dunne lagen van de Sm-Co ferromagneet groeien. De dunne lagen die voor dit proefschrift gegroeid zijn, hebben een coërcief veld van ongeveer 3 T, hoewel niet alle films zo'n grote waarde halen. De groei van goede dunne lagen wordt bemoeilijkt door de grote hoeveelheid verschillende Sm-Co fases die zich bevinden in de buurt van de SmCo_5 fase, die allemaal net wat andere magnetische eigenschappen hebben. Een kleine variatie in de Sm concentratie leidt al tot een significante verandering van de magnetische eigenschappen van de dunne lagen.

Een van de grootste problemen bij het bouwen van een spin-flip laser is de injectie van de spinstroom in een aanliggende dunne laag, en de relaxatie van de spinstroom in de aanliggende laag. In **hoofdstuk 5** en **hoofdstuk 6** onderzoeken we met behulp van de ferromagnetische resonantie techniek (FMR) hoe deze spinstromen zich gedragen op een interface tussen een ferromagneet en een normaal metaal met een grote spin-baan koppeling, zoals Pt en Pd. Wanneer er een spins worden geïnjecteerd in zo'n normaal metaal wordt de spinstroom efficiënt verwijderd; dit leidt tot een netto spinstroom die zichtbaar is in het FMR spectrum als een verbreding van de lijn. Wordt er echter een normaal metaal met een kleine spin-baan koppeling gebruikt, zoals Cu of Al, dan worden de spins veel minder efficiënt verwijderd en is er nauwelijks verbreding zichtbaar in het FMR spectrum.

In **hoofdstuk 5** gebruiken we FMR en elektrische metingen om de injectie van een spinstroom te bestuderen van dunne Co lagen in de aanliggende Pt laag. Met behulp van de dikte afhankelijkheid van de ferromagneet en de hoek-afhankelijkheid van het externe magnetische veld ten opzichte van de normaal van de dunne lagen, wordt er aangetoond dat er inderdaad een spinstroom aanwezig is. Wij hebben ook de temperatuur afhankelijkheid van de injectie van een spinstroom bestudeerd. We vinden dat wanneer de temperatuur wordt verlaagd, de efficiëntie van de spinstroom injectie niet verandert. De waargenomen verandering van de FMR lijnbreedte wordt blijkbaar veroorzaakt door een verandering in de intrinsieke verstrooiings mechanisme in de ferromagnetische laag.

Bij het bestuderen van de spinstroom injectie in dunne Co/Pt dubbel lagen, zijn daarnaast ook dunne Co/Cu lagen bestudeerd als referentie monsters. Voor heel dunne Co lagen vonden we dat de lijnverbreding veel groter is dan voor Cu, een normaal metaal met een zwakke spin-baan koppeling, verwacht kon worden. In **hoofdstuk 6** bestuderen we deze systemen in meer detail. Metingen aan drielagen, waar de ferromagneet aan beide zijden is bedekt met een normale metaallaag, laten geen extra lijnverbreding zien. Het grote verschil tussen de dubbellaag en drielagen geeft aan dat de extra demping een eigenschap van de dubbellaag is. Wij denken hierbij aan een Rashba spin-baan koppeling die niet wordt veroorzaakt bij het grensvlak tussen de ferromagneet en het normale metaal, maar aan het grensvlak van de ferromagneet en het substraat.

