مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش VSM

مهرداد مرادی[1*]

اطلاعات مقاله:

نشریه رویکردهای نوین در آزمایشگاه‌های علمی ایران
سال پنجم، شماره ۱، ۱۴۰۰
صفحات: ۲۵-۲۱
شاپای چاپی: ۶۴۰۱-۲۵۸۸
شاپای الکترونیکی: ۶۴۱X-۲۵۸۸
وب‌سایت: shaajournal.msrt.ir
تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۳/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۶
نشر آنلاین: ۱۴۰۰/۰۹/۱۷

مهرداد مرادی

چکیده

در این مقاله نحوه عملکرد دستگاه مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش به طور خلاصه شرح داده شده است. این دستگاه برای اندازه‌گیری حلقه پسماند مواد مغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. حلقه پسماند مواد مغناطیسی به منزله شناسنامه مواد مغناطیسی است و پارامترهایی مانند مغناطش اشباع، میدان مغناطیسی اشباع، پسماند باقیمانده، مقدار مربعی بودن حلقه پسماند را می‌توان اندازه‌گیری کرد. اساس کار دستگاه استفاده از قانون القای فارادی است و نمونه مورد بررسی در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی در مقابل یک سیم‌پیچ کوچک شروع به ارتعاش می‌کند. بدیهی است که شار مغناطیسی عبوری از سیم‌پیچ وابسته به زمان تغییر می‌کند و یک جریان القایی را متناسب با بزرگی مغناطش نمونه درون سیم‌پیچ ایجاد می‌کند که با کالیبره کردن آن می‌توان بزرگی میدان مغناطیسی نمونه را اندازه‌گیری کرد. حال با رسم نمودار مغناطش نمونه بر حسب میدان مغناطیسی خارجی اعمالی در هر لحظه، می‌توان حلقه پسماند نمونه را اندازه‌گیری کرد. به منظور اطمینان از نتایج، دستگاه به طور منظم با یک نمونه استاندارد کالیبره می‌شود.

واژگان کلیدی: مغناطیس‌سنج مرتعش، حلقه پسماند، القای فارادی، مغناطش

نویسندگان:

۱*. عضو هیات علمی پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

ایمیل: m.moradi@kashanu.ac.ir
تلفن: ۰۳۱۵۵۹۱۳۲۱۶

*. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

با توجه به پیشرفت‌های تکنولوژی در زمینه مغناطیس و کاربردهای وسیع آن‌ها در زمینه صنعت، محققان به این حوزه علاقه‌مند شده‌اند. منشا مغناطیس به زبان ساده به حرکت اسپینی و مداری الکترون و ترکیب این دو حرکت بر می‌گردد. برای بررسی خواص مغناطیسی مواد، دستگاه‌هایی برای اندازه‌گیری خواص مغناطیسی به کار می‌روند که یکی از اصلی‌ترین آنها انواع مغناطیس‌سنج‌ها هستند [۱]. دستگاه‌های مغناطیس‌سنج متفاوتی در این راستا وجود دارند که بر اساس اصول عملکرد آنها به چند دسته تقسیم می‌شوند. از جمله آنها می‌توان به مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش VSM، مغناطیس‌سنج نمونه چرخان RSM و مغناطیس‌سنج گرادیان نیروی متناوب AGFM و مغناطیس‌سنج ابررسانی تداخلی کوانتومی SQUID اشاره کرد که تقریبا داراي اساس اندازه‌گیری مشابه هستند. در بین روش‌های سنجش خاصیت مغناطیسی مواد، روش اندازه‌گیری مقدار مغناطش بر اساس نمونه مرتعش نسبت به روش‌های دیگر متداول‌تر است اما برای اندازه‌گیری پارامترهای مربوط به نمونه‌های با مقدار ماده مغناطیسی کم، حساسیت زیادی ندارد. در مقابل، روش‌های گرادیان نیروی متناوب و مغناطیس‌سنج ابررسانی تداخلی کوانتومی از حساسیت فوق‌العاده‌ای برای تعیین پارامترهای مغناطیسی نمونه‌های لایه نازك و با مقدار ماده مغناطیسی کم برخوردار هستند. اگرچه کالیبره کردن مغناطیس‌سنج گرادیان نیروي متناوب براي اندازه‌گیری خاصیت مغناطیسی کار چندان ساده و دقیقي نیست ولي مي‌توان پارامترهایی نظیر نیروي وادارکنندگی، نسبت M_r به M_s و همچنین شکل حلقه پسماند را با دقت خوبی تعیین نمود. این نوع مغناطیس‌سنج حدود هزار بار حساستر از مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش است.

۲- مغناطیس‌سنج گرادیان نیروی متناوب AGFM

در این سیستم از یك گرادیان میدان مغناطیسی متناوب برای ایجاد و اعمال یك نیروی مغناطیسی متناوب بر روی نمونه استفاده مي‌شود و نیروی متناوب باعث ارتعاش نمونه به همراه پایه آن با فرکانس میدان مغناطیسی اعمالی خواهد شد. ارتعاشات پایه توسط پیزو الکتریك متصل به آن به یك ولتاژ تناوب –در حدود میکرو ولت– تبدیل می‌شود که بعد از تقویت توسط یك تقویت‌کننده قفل شونده جدا و اندازه‌گیری می‌شود. دامنه این ولتاژ اندازه‌گیری شده با مغناطش نمونه متناسب است.

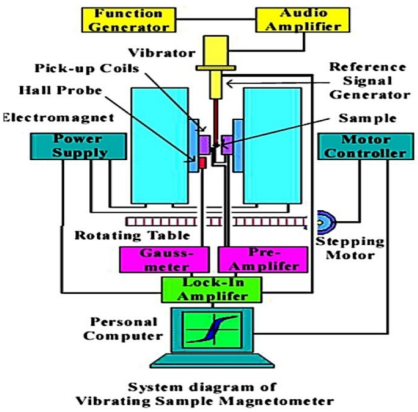
۳- دستگاه ابررسانایی تداخلی کوانتومی SQUID

عبارت SQUID از حروف ابتدایی کلمات دستگاه ابررسانی تداخلی کوانتومی به شکل زیر تشکیل شده است:

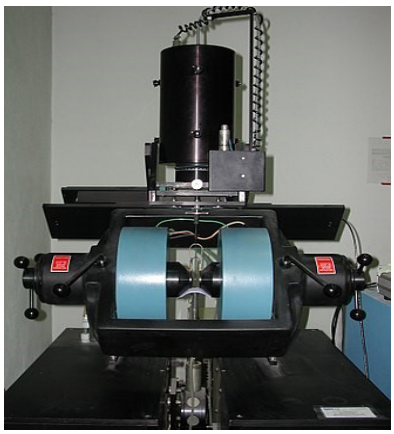
Superconducting Quantum Interference Device این دستگاه یک مغناطیس‌سنج بسیار حساس است که برای اندازه‌گیری میدان های مغناطیسی بسیار ظریف استفاده می‌شود و بر اساس حلقه های ابررسانایی که حاوی اتصالات جوزفسون هستند کار می‌کند و کاربردهای فراوانی در آزمایشات مختلف دارند.SQUID ها به اندازه‌ای حساس هستند که می‌توانند برای اندازه‌گیری میدان‌هایی به کوچکی 5 در 10 به توان منفی 18 تسلا با چند روز اندازه‌گیری مورد استفاده قرار گیرند.

۱-۳- مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش VSM

اساس کار دستگاه مغناطیس‌سنج نمونه مرتعشVibrating sample mag netometer (VSM) قانون القای فارادی است که با ارتعاش نمونه و اعمال میدان مغناطیسی خارجی به آن، باعث به وجود آمدن یک جریان القایی در سیم‌پیچ‌های تعبیه شده در دستگاه (pick-up coil) می‌شود که با مغناطش نمونه متناسب است. در این مقاله از این سیم‌پیچ‌ها به نام سیم‌پیچ برگیر نام خواهیم برد. با تقویت و انتقال این جریان القایی به رایانه‌ی متصل به دستگاه و نمایش حلقه‌ی پسماند منحنی (B-H) ، مغناطش نمونه به ازای اعمال میدان‌ها مغناطیسی در جهت‌های مثبت و منفی اندازه‌گیری می‌شود. به طور کلی یک دستگاه VSM از سه بخش اصلی شامل آهنربای الکتریکی، قسمت‌های مکانیکی و مدارها و اجزای الکتریکی تشکیل شده است. تصویر کلی یک مغناطیس‌سنج به شکل طرحواره در شکل (۱) و واقعی در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۱: شماتیک یک VSM با اجزای جانبی



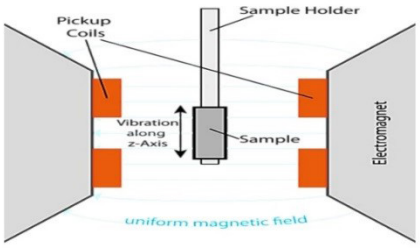
شکل ۲: نمایی از یک VSM

۳-۲- آهنربای الکتریکی

این آهنربا از دو سیم‌پیچ کروی تشکیل شده است و دارای قطر خارجی حدود ٦٠ سانتیمتر و قطر داخلی ١٠ سانتیمتر است و قادر است در ناحیه‌ای بین دو سر فلزی آهنربا به فاصله ١٠ میلی‌متر، میدان مغناطیسی تا بزرگی دو تسلا را ایجاد نماید. به منظور خنک نمودن سیم‌پیچ آهنرباها، از جریان آب مقطر در لوله‌های الومینیومی استفاده می‌شود. دلیل استفاده از اب مقطر آن است که از رسوب و انسداد لوله‌ها جلوگیری شود. آب مقطر با چرخش از روی سیم‌پیچ‌ها از آنها گرما گرفته و موجب خنک‌شدن آنها می‌شود و خود اب مقطر هم بوسیله یک سیستم خنک‌ساز (chiller) خنک می‌شود. این آب مقطر به صورت دایم درون آبگردها در جریان است. چیلر شامل یک منبع حاوی آب مقطر است که توسط یک یخچال خنک می‌شود و دمای آن ثابت نگه داشته می‌شود. آب قطر به کمک یک پمپ به صورت مداوم درون لوله‌های آبگرد چرخش می‌کند و از افزایش دمای سیم‌پیچ‌ها جلوگیری می‌کنند. منبع تغذیه جریان بالای دستگاه قادر است که جریان مستقیم لازم را تولید کند و با عبور این جریان از سیم‌پیچ‌ها، به تناسب میدان مغناطیسی مورد نیاز در سیم‌پیچ‌ها ایجاد می‌شود.

۳-۳- قسمت مکانیکی

قطعات مکانیکی برای نگهداری نمونه در محل تعبیه شده، چرخش آن و تولید نوسانات مکانیکی مورد نیاز، طراحی شده است. قسمت مکانیکی، روی آهنربای الکتریکی قرار می‌گیرد و از بخش‌های مولد نوسان، جابجا کننده نمونه، نگهدارنده‌ی نمونه و وسیله‌ی جداکننده‌ی نوسانات تشکیل شده است. برای تولید نوسان، از وسیله‌ای سیم‌پیچ مانند موسوم به بوبین، یک جریان متناوب با بسامد مشخصی می‌گذرد. قسمت میانی صفحات فنری، تحت تاثیر نیروی میدان نوسانی قرار گرفته و به نوسان در می‌آید و همراه با خود، میله نمونه و در نتیجه نمونه مغناطیسی را در امتداد قائم به نوسان در می‌آورد. بخش نوسان‌کننده به صفحات متحرک خازن‌هایی وصل می‌شود. نیروی عکس‌العمل حاصل از نوسانات که به بوبین و آهنربا وارد می‌شود، باعث نوسان متقابل آنها می‌گردد. برای حذف این نوسانات و جلوگیری از انتقال آن به پایه و تشکیل یک میدان استاتیک به وسیله‌ی آهنربای اصلی، از ایزوله کننده نوسانات استفاده می‌شود که به عنوان یک تشدیدکننده‌ی مکانیکی، انرژی نوسانات حاصل از نیروی عکس‌العمل را جذب می‌نماید. نمونه که در انتهای یک میله‌ی کاملا غیرمغناطیسی نصب می‌شود. این میله باید به طور دقیق در مرکز تقارن سیستم سیم‌پیچ‌های VSM واقع در بین قطب‌های آهنربای الکتریکی اصلی مانند شکل (٣) قرار بگیرد. محل دقیق نمونه با سه عدد پیچ مخصوص که قابلیت حرکت نمونه را در راستاهای مختلف فراهم می‌کند، تنظیم می‌شود.



شکل٣: نمایی نزدیک از قرارگیری نمونه در میان سیم‌پیچ‌های تولید کننده میدان مغناطیسی.

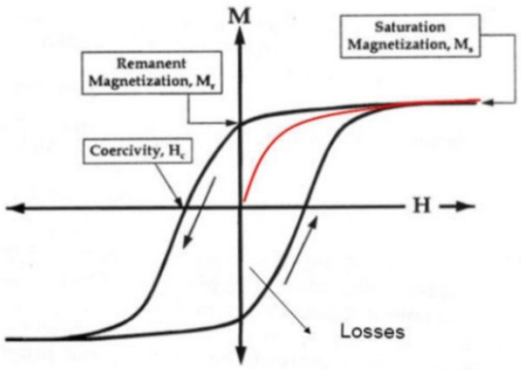
٣-٤- قسمت الکتریکی

قسمت الکتریکی دستگاه از مهمترین قسمت‌های دستگاه محسوب می‌شود. با توجه به مکانیسم دستگاه، سیگنال القا شده در سیم‌پیچ‌ها در اثر نوسانات قائم نمونه، متناسب با دو عامل است. یکی مغناطش نمونه و دیگری مشخصات نوسان‌های ایجاد شده توسط دستگاه که به منظور اندازه‌گیری مغناطش دقیق نمونه، عامل دوم باید حذف گردد. سیگنالی از خازن متغیر حاصل می‌شود که تنها به مشخصات نوسانات مکانیکی (عامل دوم)، بستگی دارد. از آنجایی که سیگنال اصلی متناسب با هر دو عامل است، از تفاضل سیگنال اصلی و سیگنال ناشی از خازن و تقویت آن به وسیله‌ی یک تقویت کننده‌ی تفاضلی، مغناطش نمونه اندازه‌گیری می‌شود. یک دستگاه قفل کننده بر روی فرکانس ویژه Lock-in Amplfiier به حذف نوفه‌های سیستم کمک می‌کند. به این ترتیب، تغییرات احتمالی در عوامل نوسانی روی اندازه به دست آمده برای مغناطش نمونه، اثری نخواهد داشت. نمونه قرار گرفته برای اندازه‌گیری مانند یک اهنربای کوچک عمل می‌کند و با نوسان در مقابل سیم پیچ برگیر یک جریان (ولتاژ) متناسب با بزرگی مغناطش نمونه ایجاد می‌کند. وقتی که نمونه در معرض میدان خارجی قرار می‌گیرد، اگر مغناطش ان تغییر کند، متناسب با ان جریان القایی ایجاد شده در سیم‌پیچ برگیر تغییر می‌کند و با کالیبره کردن ان مغناطش نمونه محاسبه می‌شود.

٤-حلقه پسماند مغنطیسی (Hysteresis loop)

وقتی به یک ماده مغناطیسی، میدان مغناطیسی خارجی اعمال شود، مغناطش محیط سریع افزایش می‌یابد و ممان‌های مغناطیسی نمونه سعی می‌کنند تا خودشان را همراستا با میدان مغناطیس خارجی کنند. در ادامه با افزایش مقدار میدان اعمالی، شتاب افزایش مغناطش در نمونه کاهش می‌یابد چون بیشتر ممان‌ها تا این لحظه با میدان خارجی هم جهت شده‌اند و افزایش بیشتر میدان تاثیر چندانی در افزایش مغناطش نمونه ندارد. این کاهش شتاب ادامه می‌یابد تا مغناطش محیط به مقدار اشباع خود (مغناطش اشباع) sM برسد. در اغلب مواد، تغییرات مغناطش مواد مغناطیسی در هنگام کاهش میدان، از رفتار قبلی خود تبعیت نمی‌کند، بلکه به خاطر ناهمسانگردی مغناطیسی در محیط مقداری انرژی را در خود ذخیره می‌کنند. بنابراین وقتی بزرگی میدان مغناطیسی اعمالی در محیط صفر شود، مغناطش در ماده صفر

نشده و دارای مقدار خاصی است که به آن مغناطش پسماند (مغناطش باقیمانده) M_r گفته می‌شود. در ادامه روند اندازه‌گیری، با کاهش بیشتر شدت میدان به سمت مقادیر منفی، خاصیت مغناطیسی القا شده به تدریج کاهش می‌یابد و با رسیدن شدت میدان به یک مقدار مشخص منفی، خواص مغناطیسی ماده کاملا از بین می‌رود. این میدان را میدان مغناطیسی زدا می‌نامند و انرا با H_c نشان می‌دهند و به نیروی ضد پسماند (Coercive force) و یا وادارندگی مغناطیسی معروف است. با کاهش بیشتر شدت میدان، القای مغناطیسی منفی می‌شود و در نهایت به مقادیر اشباع منفی خود می‌تواند برسد. افزایش مجدد شدت میدان به سمت مقادیر مثبت، حلقه پسماند را کامل می‌کند [۳ و ٤]. شکل ٤ یک حلقه پسماند نوعی را به همراه پارامترهای قابل اندازه‌گیری توسط حلقه پسماند را نشان می‌دهد. در حالت کلی، مواد مغناطیسی از نظر رفتار آنها در میدان مغناطیسی به دو گروه مواد مغناطیسی نرم و سخت تقسیم‌بندی می‌شوند.



.شکل ۳: حلقه پسماند یک ماده فرومغناطیس نوعی

٥- عملکرد دستگاه VSM

دستگاه‌های مغناطیس‌سنج، مغناطش یک نمونه از ماده با ابعاد مختلف را به روش‌های مختلف و در شرایط گوناگون اندازه‌گیری می‌کنند و با توجه به ویژگی‌های متفاوت ماده منحنی‌های مختلفی را ارائه می‌کنند. دستگاه‌هایی که ساخت شرکت مغناطیس دقیق کویر (Magnetic Dahgigh Kavir) هستند؛ دارای ویژگی‌های مختلف هستند که از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره کرد. دمای گرمایش از ۲۵ تا ٦۰۰ درجه سانتیگراد و دمای خنک‌کننده از صفر تا ۱۹۲- درجه سانتی‌گراد (که می‌توان به وسیله آن منحنی دمای کوری مواد را هم بدست آورد)، دقت ۰/۰۰۰۱ EMU، منحنی ZFC، منحنی FC، منحنی MT(مغناطش در برابر دما)، منحنی MH، منحنی FORC، Curve-First-Order -Reversal حداکثر میدان ۲ تسلا، سیستم خنک‌کننده نیتروژن مایع، نگهدارنده نمونه به شکل‌های مایع/پودر/فله/فیلم نازک، جلد فلاسک نگهداری از نیتروژن مایع LNG ۰۵، وزن ۱۱۰۰-۹۰۰ کیلوگرم، توان ورودی 35A/220AC.

٦- نتیجه‌گیری

یکی از ابزاری که برای بررسی خواص مغناطیسی مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد مغناطیس‌سنج‌ها هستند. با استفاده از دستگاه مغناطیس‌سنج می‌توان خواص مغناطیسی مواد مغناطیسی شامل دیامغناطیس، پارامغناطیس، فرومغناطیس، آنتی‌فرومغناطیس و فری‌مغناطیس را بررسی کرد. دستگاه مغناطیس‌سنج، مغناطش یک نمونه از ماده با ابعاد مختلف را به روش‌های مختلف و در شرایط گوناگون از لحاظ دما، میدان مغناطیسی و جهت‌گیری نمونه، اندازه‌گیری می‌کند و نمودارهای متنوعی را که نشان‌دهنده ویژگی‌های متفاوت است به نمایش می‌گذارد.

۷- منابع

[۱]. http://www.nanomagnetics.org

[۲]. آذرخرمن، ف، ساخت و بررسی وادارندگی و پسماند ذرات مغناطیسی Co-Fe، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد (فیزیک حالت جامد)، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸٤.

[۳]. ماهنامه فناوری نانو، سال یازدهم اردیبهشت ۹۱، شماره ۲، پیاپی ۱۷۵

[٤]. غضنفری جبین ، م، مطالعه خواص مغناطیسی نانوذرات فریت کبالت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد (فیزیک حالت جامد)، دانشگاه تربیت مدرس ۱۳۸۸.

University of Maragheh

Journal of New Approaches in Iranian Scientific Laboratories

ILRS
Iranian Laboratory Research Society

Vibrating sample magnetometer

Mehrdad Moradi[1*]

Article Info:

NAISL
Volume 5, Number 1, 2021
Pages: 21-25
Print ISSN: 2588-6401
Online ISSN: 2588-641X
Website: shaajournal.msrt.ir
Date Received: 2021/05/23
Acceptance date: 2021/08/28
Online publishing: 2021/12/08

Mehrdad Moradi

Abstract

This article describes in brief the operation of a vibrating sample magnetometer (VSM). A VSM device was used to measure the hysteresis loops of magnetic materials. The magnetic hysteresis loop is the magnetic material identification and determins parameters such as squareness ratio, coercive field (Hs), remanent magnetization (Mr), saturation magnetization (Ms), Mr/Ms ratio and saturation magnetic field (Hs). The VSM operates on Faraday's Law of induction, and the sample begins to vibrate in the presence of an external magnetic field in front of a small pick-up coil. the magnetic flux passing through the pick-up coil changes over time and creates an induced current proportional to the magnitude of the sample. This induced current was calibrated using the reference sample with specific magnetization. Now, by plotting the magnetization of the sample versus the external applied magnetic field, the hysteresis loop of the sample can be measured. In order to ensure results, the device is regularly calibrated with a standard sample.

Key Words: **Vibrating sample magnetometer, hysteresis loop, Faraday induction, magnetization**

Authors:
1*. Associate professor, Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan, Iran.
E-mail: m.moradi@kashanu.ac.ir
Tel: 03155913216

*.Corresponding author