دستور کار در آزمایشگاه حالت جامد

آزمایشگاه فیزیک دانشگاه قم

تهیه و تنظیم: دکتر تارا مرادی و دکتر مهدی غفاریان

فهرست آزمایشات

1. آشنایی با ترموکوپل‌ها و اثر ترموالکتریک..... 3
2. اثر دما بر مقاومت الکتریکی اجسام:..... 6
3. بررسی منحنی هیسترزیس فرومغناطیس‌ها..... 10
4. آزمایش نور رسانشی..... 17
5. آزمایش رسانش در جامدات..... 23
6. آزمایش خواص مغناطیسی مواد..... 28
7. تعیین چگالی و قابلیت حرکت حامل‌های بار در ژرمانیوم نوع P..... 34
8. تعیین گاف انرژی ممنوعه ژرمانیوم..... 42

آشنایی با ترموکوپل ها و اثر ترموالکتریک

اهداف :

- بررسی وابستگی اختلاف پتانسیل ترموکوپل به تغییرات دما؛
- مقایسه ی اثر ترموالکتریک در ترموکوپل‌های مختلف.

مبانی نظری :

متوسط تعداد الکترون‌های آزاد در فلزات در حدود 10^{28} الکترون آزاد در متر مکعب است و مقدار دقیق آن در فلزات مختلف متغیر ا ست. در نقطه تماس دو فلز غیر هم‌جنس، به دلیل تفاوت در تعداد الکترون‌های آزاد در دو فلز، جریان الکترونی ایجاد می‌شود که « اثر ترموالکتریک » نامیده می‌شود. در سال 1822 میلادی سیبک دریافت که در مداری که شامل دو قطعه‌ی رسانا از دو ماده‌ی مختلف است که در دو انتها به یکدیگر متصل شده‌اند و این دو انتها در دو دمای متفاوت T_1 و T_2 قرار گرفته‌اند، نیروی محرکه‌ای(V_T) ایجاد می‌گردد.

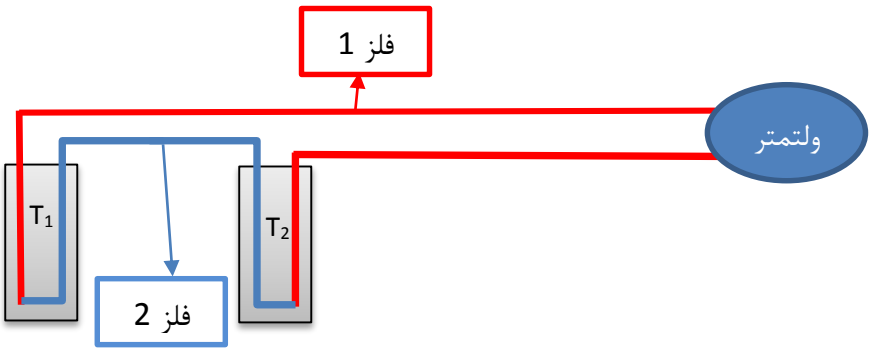
$$dV = \alpha_T dT \qquad (1)$$

در اثر اختلاف دما در دو نقطه از یک فلز اختلاف پتانسیلی بین این دو نقطه ایجاد می‌شود که اختلاف پتانسیل ترموالکتریک نام دارد. گرما موجب می شود تا سرعت میانگین الکترون‌ها در نقطه گرم بیشتر از نقطه سرد گردد. در نتیجه تعداد الکترون‌هایی که بطور میانگین از نقطه گرم به سرد می‌رسند بیشتر از جهت عکس است و در نقطه سرد، که تعداد الکترون‌ها بی شتر ا ست، پتانسیل منفی و در نقطه گرم، که تعداد الکترون‌ها کمتر ا ست، پتانسیل مثبت ایجاد می‌گردد.

جهت اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل ترموالکتریک نمی‌توان نقاط سرد و گرم را مستقیماً به ولتمتر متصل نمود، زیرا اثر ترموالکتریک در سیم اتصال نیز بوجود می‌آید. به منظور اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل مزبور از دو فلز (شکل 1) استفاده می‌کنیم و سیم‌های اتصال به ولتمتر را در یک دما قرار می‌دهیم. در این مدار آنچه اندازه‌گیری می‌شود اختلاف بین ولتاژهای نرموالکتریک دو فلز است و این اختلاف متناسب با اختلاف دمای محیط‌های سرد و گرم است. اگر محیط

سرد ثابت و در دمای اتاق باشد یا مثلاً دمای یخ، عدد ولتمتر بستگی به دمای محیط گرم دارد و می‌توان از آن بعنوان دماسنج ترموالکتریک به روش ترموکوپل استفاده نمود.

با تغییر دمای محل تماس دو فلز غیر هم جنس اختلاف پتانسیل ترموالکتریک تغییر کرده و رفته رفته با افزایش دما بیشتر می شود . همان طور که در تصویر نشان داده شده است اگر دو محل تماس T_1 و T_2 در دمای یکسانی قرار داشته باشند اختلاف پتانسیل یکدیگر را خنثی کرده و ولتاژی در مدار مشاهده نمی شود، اما اگر دمای یکی از این نقاط تماس تغییر کند تعادل سیستم به هم خورده و ولتاژ ترموالکتریک ایجاد می‌شود . پس ترموکوپل‌ها ابزار مناسبی برای اندازه‌گیری دما به صورت متغییری از ولتاژ هستند .



شکل 1: طرحواره‌ای از یک ترموکوپل

شرح آزمایش

مواد و وسایل مورد نیاز:

میکروولتمتر

بشر

دماسنج الکلی

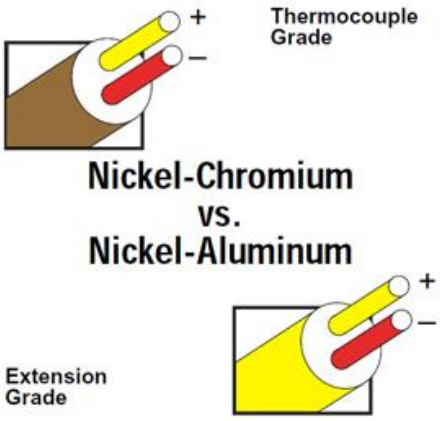
هیتر برقی

ترموکوپل‌های کنستانتین+مس و کنستانتین+آهن و کنستانتین+کروم-نیکل (با توجه با اینکه اختلاف ترموالکتریک به جنس هر دو فلز وابسته است معمولاً خاصیت ترموالکتریک مواد نسبت به یک فلز مرجع به نام « کانستنتین » سنجیده می‌شود .)

مراحل آزمایش:

دستور کار در آزمایشگاه حالت جامد

1. سیم روکش دار ترموکوپل را به ورودی منفی و سیم بدون روکش را به ورودی مثبت وصل کنید.
2. بشر را از آب پر کرده و روی هیتر قرار دهید، سپس دماسنج و ترموکوپل را طوری در آب قرار دهید که اولاً سر ترموکوپل و مخزن دماسنج تا حد ممکن به هم نزدیک باشند و ثانیاً هیچکدام با کف ظرف در تماس نباشند.
3. حال هیتر را روشن کرده و دما را کم کم زیاد کنید تا آب به دمای جوش برسد. در طول این مدت با هر دو درجه افزایش دما، ولتاژ ترموکوپل را خوانده و آن را در جدولی ثبت کنید.
4. نمودار ولتاژ ترموکوپل‌ها را بر حسب دما رسم و تابع ریاضی نمودار حاصل را بدست آورید.
5. دقت کنید که روکش سیم با سطح هیتر تماس پیدا نکند و در طول آزمایش قسمت‌های بدون روکش ترموکوپل با هم یا هیچ وسیله فلزی دیگری تماس نداشته باشد. همچنین در طول آزمایش نباید دمای محل اتصال ترموکوپل و ولتمتر یا فاصله سر ترموکوپل و دماسنج تغییر کند.
6. آزمایش را برای دو ترموکوپل دیگر تکرار کنید.
7. سه ترموکوپل را با هم مقایسه نمایید. کدام ترموکوپل برای اندازه‌گیری دما مناسب‌تر است؟ چرا؟
8. دماسنج های ترموکوپل چه امتیازاتی نسبت به دماسنج‌های دیگر دارند؟



اثر دما بر مقاومت الکتریکی اجسام:

هدف :

بررسی تغییرات غیر خطی مقاومت الکتریکی با دما برای دو نمونه رسانا و نیمه رسانا

(لطفا قبل از ورد به کلاس آزمایشگاه به سوالات زیر پاسخ دهید)

1- ساختار نوار انرژی فلز و نیمه‌رسانا و تراز فرمی آن‌ها را با هم مقایسه کنید.

2- چرا با افزایش دما، مقاومت ویژه‌ی فلزات افزایش می‌یابد اما مقاومت ویژه‌ی نیمه‌رساناها کاهش می‌یابد؟

3- چگونه می‌توان گاف انرژی نیمه‌رساناها، یعنی فاصله بین دو نوار رسانش و ظرفیت، را اندازه‌گیری کرد؟

4- به نظر شما تحرک بارها در فلز یا نیمه‌رسانا چگونه به پهنای نوار انرژی رسانش آن‌ها بستگی دارد؟

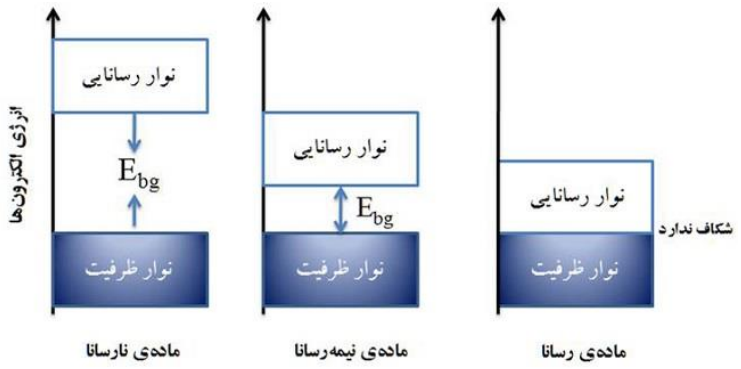
5- نیم‌رساناهای نوع n و p چه هستند؟ در این آزمایش جنس نیمه‌رسانا و نوع آن چیست؟

مبانی نظری :

در مطالعه قانون اهم، مقاومت را ثابت در نظر می‌گیریم. اعتبار این فرض به شـرایط دمایی محیط وابسـته اسـت. به عبارت دیگر، مقاومت در صورتی ثابت است که دمای محیط پیرامون تقریباً ثابت باشد. یکی از معیارهای دسته‌بندی مواد در فیزیک کلاسـیک، مقاومت مواد و همچنین رابطه‌ی آنها با دما اسـت. موادی با مقاومت ویژه‌ی کم (نوعا $<10^{-4}\Omega-cm$) که با افزایش دما مقاومت ویژه‌ی آن‌ها نیز افزایش می‌یابد رسانا هستند. موادی با مقاومت ویژه‌ی متوسـط ($10^{-3}-10^{11}\Omega-cm$) که با افزایش دما مقاومت ویژه در آن‌ها کاهش می‌یابد، نیمه‌رسـانا و موادی با مقاومت ویژه‌ی بسـیار زیاد ($>10^{12}\Omega-cm$) که در آن‌ها مقاومت ویژه مسـتقل از دما اسـت نیز عایق نامیده می‌شوند.

بر خلاف الکترون در خلاء، الکترون در جامد فقط می‌تواند مقادیر محدودی از انرژی را بپذیرد. نوارهای معینی از ترازهای مجاز، توسـط گاف‌هایی از انرژی‌های ممنوع که در آنها الکترون نمی‌تواند وجود داشـته باشـد، از هم جدا می‌شـوند. هر نوار انرژی مجاز شـامل تعداد محدودی حالت اسـت که می‌توانند تعداد معینی الکترون را در خود جای دهند. ساختار نوار انرژی در مواد به طور کلی از دو دسته نوار، موسوم به نوار ظرفیت و نوار رسانش تشکیل می‌شود

که توسط گاف ممنوع انرژی از هم فاصله دارند. این تصویر فیزیکی، که نمودار نوار-انرژی نامیده می شود، برای سه رده از جامدات در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1: نمودار نوار-انرژی برای سه رده از جامدات

در مواد رسانا حامل‌های بار الکتریکی (الکترون‌ها) در باند رسانش قرار دارند و تعداد آنها بسیار زیاد است و تغییر دما به صورت جدی تعداد آنها را افزایش نمی‌دهد (شکل 1). اما با افزایش دما رفته رفته حامل‌ها در باند رسانش بیشتر به یکدیگر برخورد کرده و تحرک، μ_e، آن‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه مقاومت فلز افزایش پیدا می‌کند. در مواد نیمه‌رسانا در حالت عادی تعداد الکترون‌ها در باند رسانش زیاد نیست، با افزایش دما الکترون‌های بیشتری به باند رسانش رفته و در هدایت الکتریکی شرکت می‌کنند. از سوی دیگر، جای خالی آن‌ها در باند ظرفیت تبدیل به یک حفره شده که خود در رسانش مؤثر است. پس افزایش دمای نیمه رساناها موجب افزایش تعداد حامل‌های بار الکتریکی می شود. از آنجایی که تعداد حامل‌های بار در باند رسانش کم است افزایش دما موجب برخورد و در نتیجه کاهش تحرک آنها نمی‌شود.

معادله ی وابستگی مقاومت کل به دما برای رساناها به صورت زیر است:

$$R = R_0(1+\alpha(T - T_0)), \qquad (1)$$

در اینجا R_0 مقاومت در دمای T_0 ، R مقاومت در دمای T ، α ضریب ثابت وابسته به جنس ماده، و T دما بر حسب درجه سانتیگراد است. برای یک نمونه نیمه‌رسانا معادله‌ی رسانندگی ویژه یا عکس مقاومت ویژه‌ی الکتریکی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{1}{\rho} = \sigma = e(n\mu_e + p\mu_p), \qquad (2)$$

در اینجا n تعداد الکترون‌های باند ر سانش، p تعداد حفره‌های باند ظرفیت، μ_e تحرک الکترون‌های باند ر سانش، و μ_p تحرک حفره‌های باند ظرفیت ا ست. ر سانندگی یک ج سم با دو عامل تعیین می شود: میزان حامل‌های آزاد و تحرک آنها. در یک نیه‌رسانا هر دوی این عوامل وابسته به دما هستند و در حالت کلی رسانندگی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\sigma = q\left[\mu_n(T)n(T) + \mu_p(T)p(T)\right]. \qquad (3)$$

وابستگی دمایی تحرک حامل‌ها به دلیل پراکنندگی از شبکه به صورت $T^{-\frac{3}{2}}$ است و میزان حامل‌های آزاد بار در دمای معین T با رابطه زیر تعیین می‌شود

$$n_i(T) = 2\left[\frac{2\pi kT}{h^2}\right]^{\frac{3}{2}}\left(m_n^* m_p^*\right)^{\frac{3}{4}}\exp\left[\frac{-E_g}{2kT}\right], \quad i = n, p \qquad (4)$$

با توجه به روابط (3) و (4) معادله وابستگی مقاومت الکتریکی به دما برای نیمه‌رسانا ها به صورت زیر است:

$$R \propto e^{\frac{E_g}{2KT}}$$

در این رابطه E_g گاف ممنوع انرژی بین دو تراز ظرفیت و رسانش، k ثابت بلتزمن $(k = 1.38 \times 10^{-23} J/K)$، و T دما برحسب کلوین است.

شرح آزمایش

مواد و وسایل مورد نیاز:

کامپیوتر مجهز به نرم‌افزار CASSY LAB

دستگاه Sensor CASSY

مبدل دیجیتالی اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی

ترموکوپل Ni-NiCr

مبدل دیجیتالی ولتاژ ترموکوپل به دما

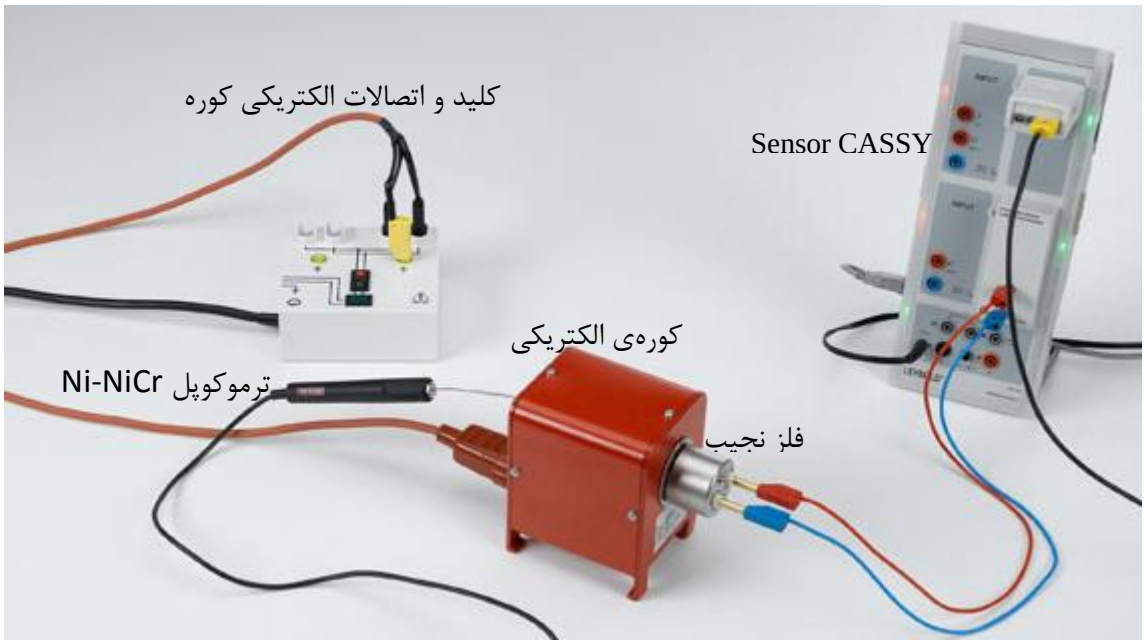
کوره الکتریکی

کلید و اتصالات الکتریکی کوره

نمونه نیمه رسانا

دستور کار در آزمایشگاه حالت جامد

نمونه فلز نجیب سیم‌های رابط



مراحل آزمایش

1. با توجه به شکل فوق، اتصالات لازم را برقرار نمائید. (دقت کنید که سر ترموکوپل کاملاً با نمونه مورد بررسی در تماس باشد.)
2. نرم‌افزار CASSY LAB را باز کنید و آزمایش را در دو بخش فلزات نجیب و نیمه‌رسانا (دسکتاپ کامپیوتر را ببینید) دنبال کنید.
3. نرم‌افزار را طوری تنظیم نمایید که محورِ X نمودار، دما (محدوده‌ی ۰تا ۲۵۰ درجه سانتیگراد) و محورِ Y آن مقاومت الکتریکی (محدوده‌ی ۰ تا ۳۰۰ اهم) باشد.
4. کوره را روشن کرده و اندازه‌گیری را شروع کنید، منتظر بمانید تا دما به ۲۰۰ درجه برسد، سپس کوره را خاموش کرده و نمودار ثبت شده را ذخیره کنید.
5. منتظر بمانید تا کوره سرد شده و به دمای محیط برسد، سپس آزمایش را برای نمونه دوم تکرار کنید.
6. نمودارها را با هم مقایسه و از روی آن‌ها نوع نمونه‌ها را مشخص و دلیل انتخاب خود را توجیه کنید.

بررسی منحنی هیسترزیس فرومغناطیس ها

اهداف :

در این آزمایش قرار است با مواد فرومغناطیس آشنا شویم و منحنی هیسترزیس آنها را رسم کنیم. هم‌چنین، انرژی اتلاف شده در یک چرخه را محاسبه کنیم.

(لطفا قبل از ورد به کلاس آزمایشگاه به سوالات زیر پاسخ دهید)

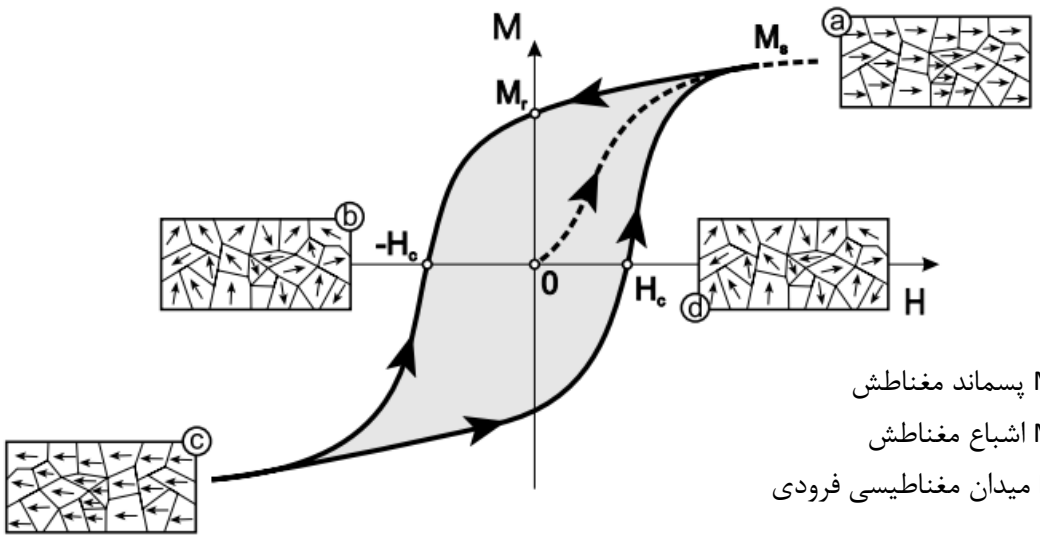
1. مواد مغناطیسی چند دسته هستند؟
2. حوزه های مغناطیسی چه هستند؟
3. تراوایی یا قابلیت نفوذپذیری و قابلیت نفوذپذیری نسبی را چگونه تعبیر می‌کنید؟
4. منحنی هیسترزیس چیست؟
5. چه روش‌هایی برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم در آزمایشگاه وجود دارد؟
6. چگونه می‌توان مغناطش یک ماده مغناطیسی را در آزمایشگاه تعیین کرد؟
7. اصطلاحات "نقطه اشباع" و "منحنی مغناطش" برای یک چرخه هیسترزیس به چه معنا هستند؟
8. یک ماده فرومغناطیس را چگونه می‌توان از حالت مغناطیسی خارج و یا به اصطلاح "دِمگنتیزه" کرد؟

دستور کار در آزمایشگاه حالت جامد

مقدمه:

هیسترزیس در اصل یک لغت یونانی است که در فیزیک به این صورت تعریف شده است: دو کمیت M و N را در نظر بگیرید به طوری که تغییرات چرخشی در N موجب تغییر چرخشی در M گردد، اگر به هر دلیلی تغییرات N از تغییرات M عقب بیفتد، گفته می‌شود در روابط بین M و N هیسترزیس وجود دارد.

آهن Ferric جزء مشهورترین مواد فرومغناطیسی است و کبالت و نیکل و برخی از فلزات نادر خاکی نیز رفتار فرومغناطیسی را از خود نشان می دهند. یکی از بارزترین مشخصات این مواد، منحنی مغناطیدگی یا چرخه‌ی پسماند یا همان منحنی هیسترزیس آنها است که در آن تغییرات مغناطیدگی جسم M برحسب میدان مغناطیسی خارجی H رسم می‌شود. دلیل وجود این چرخه ناشی از وجود حوزه‌های مغناطیسی در این مواد است. برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر حوزه مخالف صفر است ولی با توجه به اینکه گشتاورهای حوزه‌های مختلف در جهت‌های متفاوتی هستند، گشتاور برآیند نمونه صفر است. حال اگر این مواد را در یک میدان مغناطیسی قرار دهیم و میدان را به تدریج افزایش دهیم، ابتدا حجم حوزه‌هایی که گشتاور مغناطیسی آنها با میدان هم جهت یا تقریبا هم جهت است زیاد می‌شود و با افزایش شدت میدان، گشتاورهای حوزه‌های دیگر نیز به تدریج می‌چرخند و در جهت میدان قرار می‌گیرند و سرانجام در یک میدان مغناطیسی نسبتاً قوی گشتاور مغناطیسی تمام حوزه‌ها با میدان مغناطیسی هم‌جهت می‌شوند و کل نمونه به صورت یک تک حوزه‌ی مغناطیسی درمی‌آید. اکنون، اگر میدان مغناطیسی خارجی را به تدریج کاهش دهیم گشتاورهای حوزه‌های مغناطیسی به حالت اولیه خود بازنمی‌گردند، یعنی در غیاب میدان مغناطیسی، مغناطیدگی ماده صفر نمی‌شود و به عبارتی ماده از خود پسماند مغناطیسی نشان می‌دهد. در عمل به جای رسم منحنی M-H منحنی B-H را رسم می‌کنند.



شکل1: منحنی پسماند مغناطش را بر حسب میدان مغناطیسی برای یک ماده فرومغناطیس:

a) میدان مغناطیسی (H) را از میزان صفر افزایش می‌دهیم (منحنی نقطه‌چین). ماده فرومغناطیس در یک فرایند غیرخطی مغناطیدگی به نقطه اشباع می‌رسد. در این مرحله همه حوزه‌های مغناطیسی در راستای میدان مغناطیسی چرخیده‌اند. هنگامی که میدان را کاهش می‌دهیم و به صفر می‌رسانیم در ماده فرومغناطیس، مقدار قابل توجهی از مغناطش باقی می‌ماند به عبارت دیگر ماده گذشته خود را از یاد نمی‌برد.

b) با اعمال میدان مغناطیسی معکوس ماده مغناطش خود را از دست می‌دهد.

c) مرحله اشباع میدان مغناطیسی معکوس شده است.

d) به منظور غیرمغناطیده کردن ماده فرومغناطیس باید یک میدان مغناطیسی نسبتاً قوی در جهت مخالف اعمال گردد.

درون هر ترانسفورماتوری یک هسته‌ی فرومغناطیسی وجود دارد. میدان مغناطیسی هسته H به صورت غیرمستقیم با استفاده از جریان و القای مغناطیسی B به صورت غیرمستقیم با اندازه گیری شار مغناطیسی Φ قابل محاسبه است:

$$H = \frac{N_1}{L} I \qquad (1)$$

$$B = \frac{\Phi}{N_2 A} \qquad (2)$$

در روابط، H میدان مغناطیسی هسته سیم‌پیچ، I شدت جریان در سیم‌پیچ اول ترانسفروماتور، $\frac{N_1}{L}$ چگالی مؤثر تعداد دور سیم‌پیچ اول، N_1 تعداد دور سیم پیچ اول، N_2 تعداد دور سیم پیچ دوم، A مساحت سطح مقطع ماده فرومغناطیس هستند.

از سوی دیگر، رابطه‌ی بین H (میدان مغناطیسی هسته) و B (میدان مغناطیسی القاء شده) به صورت زیر است

$$B = \mu_r . \mu_0 . H , \qquad (3)$$

در اینجا، $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} Vs / Am$ تراوایی مغناطیسی خلا و μ_r نفوذ پذیری نسبی مغناطیسی است. شار مغناطیسی Φ با محاسبه انتگرال زمانی ولتاژ (U القا شده در سیم پیچ دوم) به صورت زیر محاسبه می‌شود

$$\int U dt = \Phi . \qquad (4)$$

در معادله‌ی (2) کمیت A_2N یک مقدار ثابت است پس القاء مغناطیسی B به کمک انتگرال زمانی U قابل محاسبه است.

مساحت حلقه‌ی هیسترزیس B-H برابر با انرژی اتلاف شده در واحد حجم ماده مغناطیسی است:

$$\int B dH = \frac{E}{V}, \qquad (5)$$

در این رابطه V حجم ماده فرومغناطیس و E انرژی اتلاف شـــده در آن اســـت. بنابراین با توجه به روابط (1) و (2) می‌توان گفت که مساحت حلقه‌ی هیترزیس Φ-I نیز تعیین کننده‌ی انرژی اتلاف شده در هسته به صورت زیر است (روابط (1) و (2) را در معادله‌ی (5) قرار دهید)

$$\int \Phi dI = \int N_2 \, A \, B \, \frac{L}{N_1} dH = \frac{N_2}{N_1} V \int B dH = \frac{N_2}{N_1} E . \qquad (6)$$

به کمک این معادله انرژی اتلاف شده E در فرایند بازمغناطش با دقت بسیار بالایی محاسبه می‌شود .

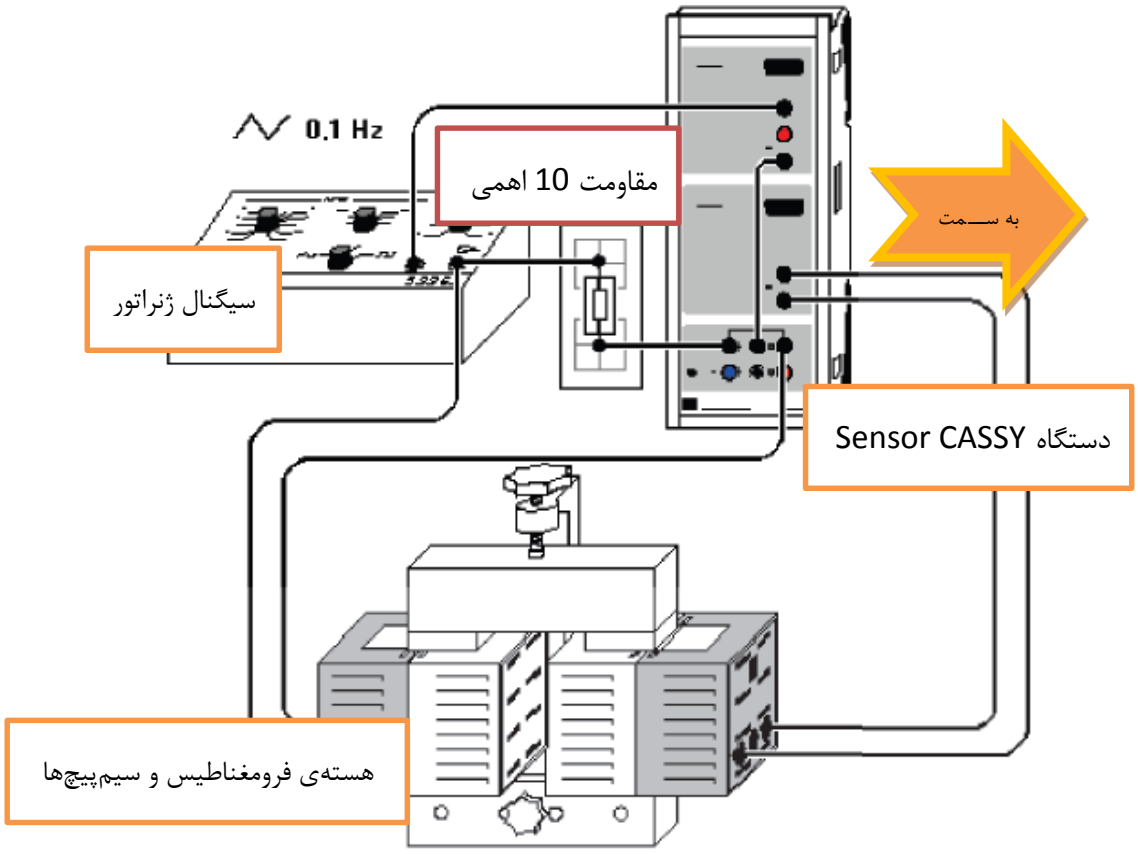
شرح آزمایش

مواد و وسایل مورد نیاز

کامپیوتر مجهز به نرم‌افزار CASSY LAB	مقاومت یک اهمی
دستگاه Sensor CASSY	هسته فرومغناطیس
دو عدد سیم پیچ	سیم‌های رابط
منبع تغذیه متناوب	

مراحل آزمایش

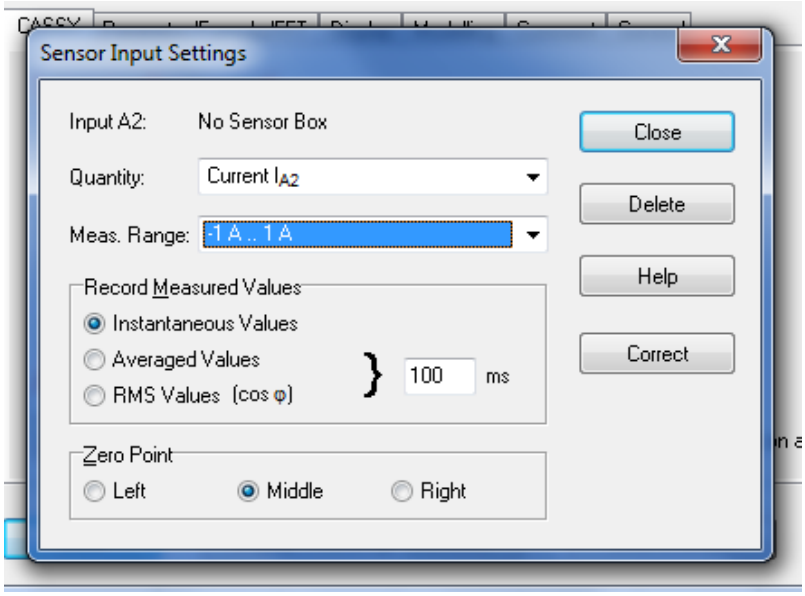
1. مطابق شکل زیر، اتصال قطعات را انجام دهید.

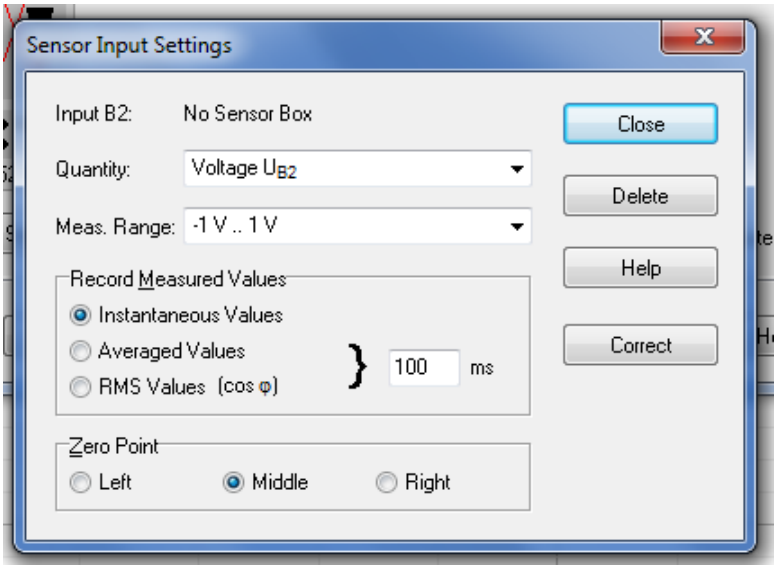


2. منبع سیگنال را روی موج سینوسی با فرکانس 0.1 هرتز تنظیم کرده و دامنه ولتاژ آن را روی ۲ ولت قرار دهید.

3. نرم‌افزار CASSY LAB را اجرا کنید.

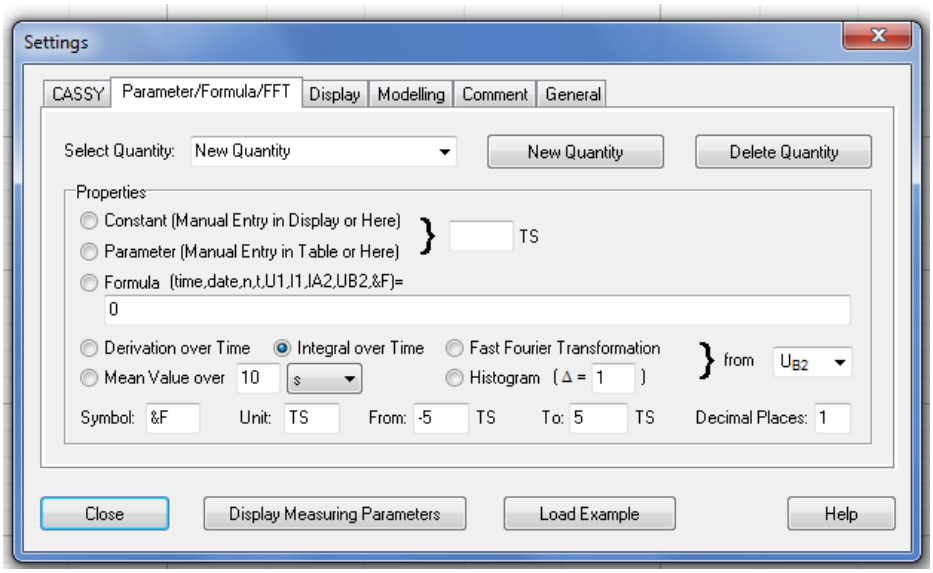
4. با کلیک بر روی ورودی های A و B تنظیمات زیر را انجام دهید:



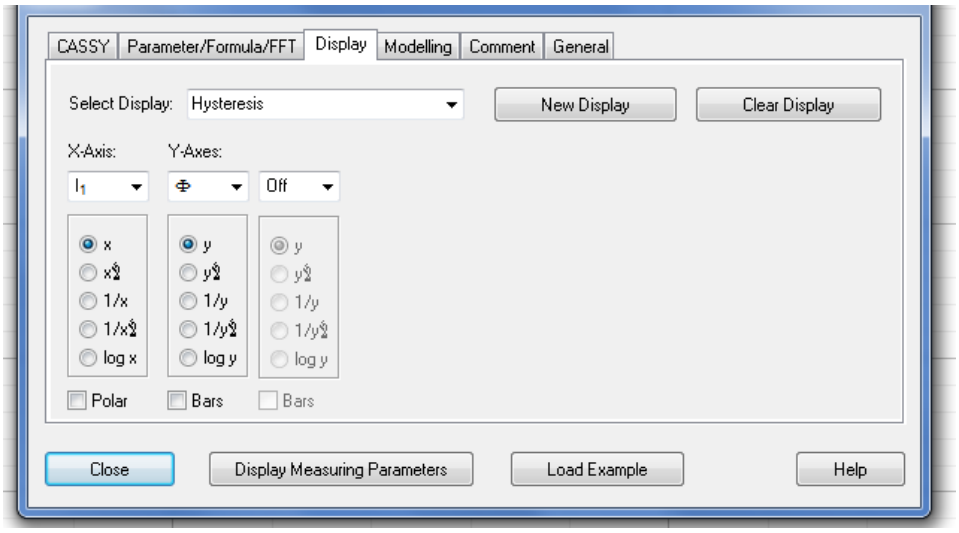


5. حال به قسمت تنظیم رله رفته و شرط اتصال رله را t>0 قرار دهید.

6. سپس وارد قسمت تعریف پارامتر جدید شده و شار مغناطیسی را مطابق جدول زیر تعریف کنید:



7. در مرحله بعد محور X نمودار را جریان و محور Y را شار مغناطیسی قرار دهید.



8. سپس به پنجره‌ی تنظیمات اندازه‌گیری رفته و آن را طوری تنظیم کنید که آزمایش با افزایش جریان از صفر آغاز شود.

9. حال اندازه‌گیری را با استفاده از کلید  شروع کنید و منتظر بمانید تا یک چرخه‌ی کامل طی شود.

10. با فشردن  اندازه‌گیری را متوقف کنید.

11. در صورت نیاز به تکرار آزمایش ابتدا شار پسماند هسته را از بین ببرید سپس آزمایش را تکرار کنید.

آزمایش نور رسانشی

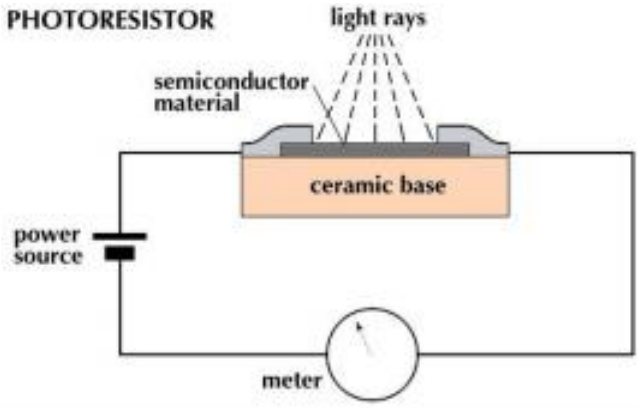
اهداف آزمایش:

- ترسیم منحنی مشخصه جریان – ولتاژ یک فتورزیستور (مقاومت نوری)
- اندازه‌گیری شدت نور جریان برحسب تابعی از ولتاژ U در روشنایی ثابت ϕ
- اندازه‌گیری شدت نور جریان برحسب تابعی از روشنایی ϕ در ولتاژ ثابت U

ملاحظات نظری:

نورر سان شی عبارت ست از افزایش ر سانش الکتریکی σ در یک ج سم جامد در اثر جذب نور. انرژی جذب شده در ج سم موجب انتقال الکترون‌های فعال به باند هدایت و تعویض بار تله‌ها با حفره‌ها در باند ظرفیت می شود. بنابراین، تعداد حامل‌های بار در شـــبکه بلور افزایش و در نتیجه هدایت تغییر می‌کند (e بار الکتریکی، Δp تغییر در تراکم حفره‌ها، Δn تغییر در تراکم الکترون‌ها، μ_p تحرک حفره ها، μ_n تحرک الکترون‌ها است):

$$\Delta\sigma = \Delta p e\,\mu_p + \Delta n e\,\mu_n$$



در اثر اعمال ولتاژ U، شدت نور جریان عبارت است از:

$$I_{ph} = \frac{A}{d}\Delta\sigma U$$

که در این رابطه A مقطع موثر مسیر جریان و d فاصله بین الکترودهاست.

آن دســـته از مقاومت‌های نیمه‌هادی که به تابش نور وابســـته هســـتند بر این قاعده اســـتوارند. این گونه مقاومت ها کاربردهای فراوانی داشته و از آن جمله در کلیدهای سحرگاهی (روشن کردن چراغ های خیابان ها در عصر هنگام و خاموش نمودن آنها در سحرگاه) و نور سنج ها بکار گرفته می شوند. مواد نیمه‌ر سانا که معمولاً بکار گرفته می شود ترکیبات کادمیم و بویژه کادمیم سولفاید Cds هستند.

در این آزمایش یک مقاومت نوری Cds در معرض تابش نور یک لامپ قرار می‌گیرد. روشـــنایی ، ϕ، در محل قرار گرفتن مقاومت مزبور با استفاده از دو عدد قطبشگر که پشت سر هم قرار می‌گیرند تغییر داده می‌شود. هرگاه صفحه قطبش قطبشگرها نسبت به یکدیگر با اندازه‌ی زاویه‌ی θ دوران داده شود، طبق قانون مالوس روشنایی از رابطه زیر بدست می‌آید

$$\phi = \phi_0 D \cos^2 \theta$$

در رابطه‌ی فوق، ϕ_0 روشنایی بدون وجود قطبشگرها و D ضریب عبوردهی وقتی که محور قطبشگرها موازی هستند است. نور جریانی بر حسب تابعی از ولتاژ اعمال شده به مقاومت نوری در روشنایی ثابت (مشخصه جریان – ولتاژ) و نیز بصورت تابعی از روشنایی در ولتاژ ثابت (مشخصه جریان – روشنایی) مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

روش آزمایش:

وسایل آزمایش:

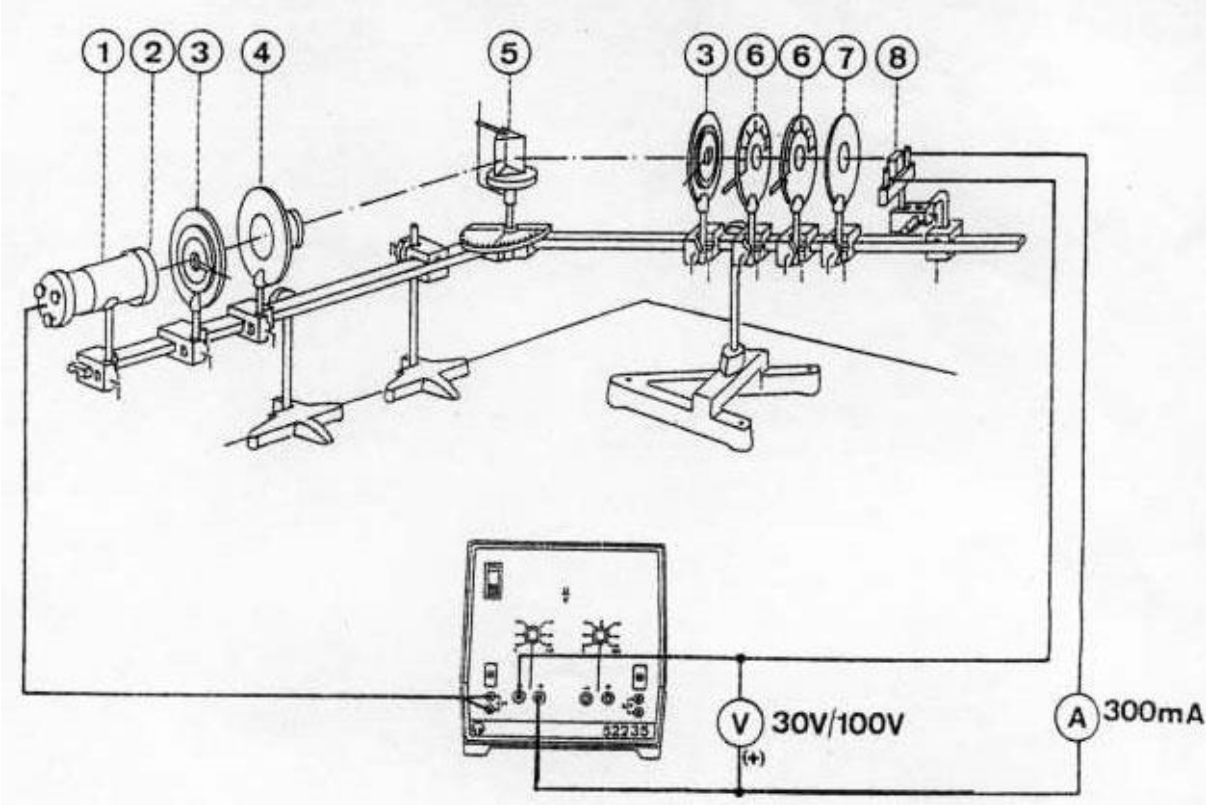
مقاومت نوری Cds با محفظه مربوط	نور افکن با منبع تغذیه مربوط
شکاف متغیر	عدسی با فاصله کانونی 100 میلیمتر با نگهدارنده
میزچه اپتیکی 2 عدد	منشور با میزچه نگهدارنده
پایه V شکل بزرگ 2 عدد	گیره چند منظوره 6 عدد
گیره مدرج	میکرو آمپرمتر
پلاریزور مدرج	منبع تغذیه 0-300 ولت DC با ولت سنج
آنالیزور مدرج	سیم رابط.

انجام آزمایش

دستور کار در آزمایشگاه حالت جامد

I. وضعیت قرار گرفتن وسایل آزمایش در شکل نشان داده شده است.

1. منبع نور
2. متمرکز کننده نور
3. شکاف متغیر
4. عدسی
5. منشور
6. پلاریزور
7. عدسی
8. مقاومت نوری *Cds*



II. میزچه های اپتیکی را توسط گیره‌ی مدرج به یکدیگر بسته شده و نور افکن را توسط گیره چند منظوره به انتهای یکی از میزچه های اپتیکی نصب و پس از آن شکاف متغیر و عدسی را قرار دهید.

III. پایه نگهدارنده‌ی منشور را درون سوراخ گیره‌ی مدرج قرار داده و با پیچ زیر گیره مدرج آن را محکم نمایید. قطب شگرهای پلاریزور و آنالیزور را پس از گیره مدرج و پشت سر هم توسط گیره‌های چند منظوره روی میز چه اپتیکی دوم ببندید و در انتهای میز چه اپتیکی دوم، فتورزیستور (مقاومت نوری)، که درون محفظه‌اش قرار دارد، را نصب نمایید.

IV. منبع تغذیه را به برق شهر و صل کنید و پس از صفر کردن ولتاژ، کلید آن را در حالت خاموش قرار دهید. توسط سیم‌های رابط و سیم BNC خروجی منبع تغذیه را به مقاومت نوری متصل نمایید و میلی آمپرمتر را بطور سری در مدار قرار دهید.

V. نور افکن را به منبع تغذیه آن متصل نموده و روشن کنید تا نور آن پس از عبور از شکاف متغیر به منشور بتابد و طیف نور سفید تشکیل شود. میزچه اپتیکی دوم را حول گیره‌ی مدرج آنقدر بچرخانید تا طیف مزبور بر روی مقاومت نوری بیفتد، عدسی را روی میزچه اپتیکی جابجا کنید تا تصویر واضحی از طیف تشکیل شده بر روی مقاومت نوری ظاهر شود.

VI. زوایای محورهای پلاریزور و آنالیزور را صفر کنید. با تنظیم میزچه اپتیکی دوم، طول موج مورد نظر را برای مرکز شکاف متغیر واقع در دهانه‌ی محفظه‌ی مقاومت نوری انتخاب نمایید.

دستور کار در آزمایشگاه حالت جامد

آزمایش1: اندازه‌گیری نور جریان I_{ph} بر حسب تابعی از ولتاژ U در روشنایی ثابت ϕ

1. ولتاژ منبع تغذیه را روی 20 ولت تنظیم نمایید و شدت جریان آمپرمتر I_{ph} را قرائت کنید. با کاهش ولتاژ منبع تغذیه بصورت پله های 2 ولتی، هر بار I_{ph} را اندازه‌گیری و در جدول زیر ثبت نمایید.

اندازه‌گیری	$U(V)$	$I_{ph}(mA)$	اندازه‌گیری	$U(V)$	$I_{ph}(mA)$
1	20		8	6	
2	18		9	4	
3	16		10	2	
4	14		11	0	
5	12				
6	10				
7	8				

2. اندازه‌گیری فوق را برای حالاتی که زاویه بین محورهای نوری پلاریزور و آنالیزور را صـــفر، 30، 60 و 90 درجه انتخاب می‌کنید، تکرار نمایید و منحنی‌های تغییرات I_{ph} بر حسب U را در یک دستگاه مختصات ترسیم نمایید.

آزمایش 2: اندازه‌گیری نورجریان I_{ph} بر حسب تابعی از روشنایی در ولتاژ ثابت U

میزچه اپتیکی دوم را در زاویه‌ای قرار دهید که محدوده‌ی طول موج مورد نظر شـــما (مثلا رنگ قرمز) در شـــکاف محفظه مقاومت نوری قرار گیرد. ولتاژ منبع تغذیه را بطور دلخواه انتخاب کنید (مثلا 1 ولت) و در حالیکه زاویه θ بین پلاریزور و آنالیزور را از صـــفر تا 90 درجه تغییر می‌دهید به ازای هر 5 درجه، شـــدت جریان میکروآمپرمتر را قرائت و در جدول زیر یادداشت نمایید.

θ^0	$I_{ph}(mA)$	θ^0	$I_{ph}(mA)$	θ^0	$I_{ph}(mA)$	θ^0	$I_{ph}(mA)$
0		**30**		**60**		**90**	
5		**35**		**65**		**95**	
10		**40**		**70**		**100**	
15		**45**		**75**			
20		**50**		**80**			
25		**55**		**85**			

منحنی تغییرات I_{ph} را بر حسب $\cos^2\theta$ رسم کنید. مقدار ولتاژ را تغییر دهید و به ازای ولتاژهای 5، 10، 20 ولت آزمایش را تکرار و منحنی I_{ph} بر حسب $\cos^2\theta$ را به ازای هر یک از این ولتاژها رسم کنید.

آزمایش 3: آزمایش 2 را به ازای سایر محدوده طول موج های نور سفید (مثلا سبز، آبی و بنفش) تکرار نمایید و منحنی‌های بدست آمده را با یکدیگر مقایسه کنید.

آزمایش رسانش در جامدات

هدف آزمایش:

- اندازه‌گیری مقاومت اهمی یک فلز نجیب و یک ماده نیمه‌رسانا بصورت تابعی از دما و تعیین ضریب گرمایی هر یک در محدوده‌های دمایی مختلف

ملاحظات نظری:

مقاومت الکتریکی فلزات تابعی از دما هستند بطوریکه می‌توان یک رابطه خطی بین مقاومت آن‌ها و دمای مربوطه (حداقل در محدوده وسیعی از دما) بصورت زیر نوشت:

$$R(\theta) = R(0)(1+\alpha\theta)$$

$R(0)$ مقاومت فلز در دمای صفر سلسیوس، θ دما برحسب درجه سلسیوس و α مقدار ثابتی است که ضریب گرمایی مقاومت آن فلز نامیده می‌شود.

ضریب گرمایی α در مورد فلزات نجیب مانند طلا و پلاتین ثابت و در مورد سایر فلزات بستگی اندکی به دما دارد، لیکن در خصوص مواد نیمه‌رسانا بستگی آن به دما بسیار شدید است. در این آزمایش با رسم منحنی تغییرات مقاومت یک فلز نجیب (پلاتین) و یک مقاومت نیمه‌رسانا بر حسب دما، ضمن مشاهده وابستگی α در دماهای مختلف برای آنها اختلاف این مواد را ملاحظه خواهیم نمود. البته مواد نیمر سانا می توانند از نوع NTC و یا PTC باشند که اولی ضریب گرمایی منفی داشته و مقاومت آن با افزایش دما کاهش می یابد در حالیکه دومی ضریب گرمایی مثبت داشته و مقاومت آن با افزایش دما افزایش پیدا می کند. و هر یک از آنها به نوبه خود موارد استفاده مهمی در صنعت، دستگاههای الکترونیکی و کنترل دما دارند.

روش آزمایش:

این آزمایش می تواند بین دماهای -50 تا +200 درجه سلسیوس صورت گیرد که برای دماهای بالا دمای اتاق از کوره الکتریکی استفاده می شود. برای دماهای زیر صفر سلسیوس می توان از روش های گوناگون تبرید استفاده نمود که در ذیل عنوان خواهد شد.

وسایل آزمایش:

مقاومت از جنس فلز نجیب (پلاتین)
مقاومت نیمه هادی
سیستم الکترونیک شامل منبع تغذیه 0-30 ولت
گالوانمتر
پل تار یک متری ویژه

جعبه مقاومت
0.1-1111 اهم
کوره الکتریکی
دیمرو دماسنج دیجیتال
کلید مورس و سیم های رابط

آزمایش 1: اندازه گیری مقاومت فلز نجیب در دمای اتاق و بالاتر از آن

1. مجموعه مقاومت نجیب را درون کوره الکتریکی جای دهید و سیم حسگر دما را به پشت منبع تغذیه مربوط به کوره که مجهز به دیمرجهت تغییر ولتاژ کوره و ترموستات و دماسنج دیجیتال است به محل تعبیه شده متصل و قطعه حساس حس گر را از سوراخ پشت کوره وارد و پس از عبور دادن از سوراخ مرکزی مجموعه مقاومت آن را در نزدیکی مقاومت تثبیت کنید.
2. پیچ ولتاژ دیمر را به حداقل برده و سیم های رابط کوره را به منبع تغذیه کوره وصل و منع تغذیه مزبور را به برق شهر متصل نمایید.
3. مدار پل تار را مطابق شکل زیر ایجاد کنید.
4. سیستم الکترونیک حاوی گالوانمتر را به برق شهر متصل نمایید و ولتاژ آن را روی 2 ولت تنظیم نمایید. مقاومت جعبه مقاومت را برای $R_s = 100\Omega$ تنظیم کنید.
5. دمای اطراف مقاومت را به کمک دماسنج دیجیتال قرائت و یادداشت نمایید. کلید مورس را بطور لحظه ای متصل و لغزنده پل تار را در محلی قرار دهید که جریان گالوانمتر صفر شود (علت استفاده لحظه ای از کلید مورس اینست که در اثر عبور جریان مداوم از مقاومت مورد آزمایش، گرما ایجاد شده و دمای آن تغییر می کند مخصوصا در مورد مقاومت نیمرسانا این مسئله بسیار مهم است.).

6. در این حالت طولهای L_2, L_1 را از روی پل تار قرائت و یادداشت نمایید.
7. دکمه *set* را در روی ترمو ستات فشار دهید تا چراغ *sv* روشن شود. با پیچاندن دکمه تنظیم دما، آن را روی 35^{0c} قرار دهید و مجددا دکمه *set* را فشار دهید تا چراغ *pv* روشن و چراغ *sv* خاموش شود. در این حالت دماسنج، دمای درون کوره را قرائت می کند.
8. دمای θ_1 را قرائت و همراه با بقیه مقادیر در جدولی مانند جدول زیر یادداشت نمایید:

دفعات اندازه گیری	$\theta(^0c)$	$L_1(cm)$	$L_2(cm)$	$R_s(\Omega)$	$R = R_s \frac{L_2}{L_1}$
1	**23**	**51**	**49**	**100**	
2	**35**				
3	**45**				
4	**55**				
5					
6					

9. در این حالت چراغ *High* در روی ترموستات روشن شده است. پیچ ولتاژ دیمر را در جهت عقربه های ساعت بچرخانید تا به ولتاژ بیش از 60 ولت برسد. آنگاه آن را کاهش دهید و بر روی 40 ولت تنظیم نمایید. (در این هنگام کوره الکتریکی شروع به گرم شدن می کند و ترموستات آن را در 35^{0c} قطع نموده و چراغ *Low* روشن خواهد شد که نشاندهنده قطع شدن کوره از برق شهر است) قدری صبر کنید تا دمای مقاومت یکنواخت و عدد دما بر روی دماسنج دیجیتال ثابت گردد. در این لحظه با استفاده از کلید مورس و جایجا کردن لغزنده پل تار جریان گالوانمتر را صفر نموده و ضمن قرائت دمای θ_2 ،طول های L_2, L_1 را اندازه گیری و در جدول ثبت نمایید.
10. حال با فشردن دکمه *set* و روشن شدن چراغ *sv* دمای مورد نظر را مثلا انتخاب نموده، دکمه *set* را فشار دهید تا با روشن شدن چراغ *pv* دمای کوره قرائت شود. دیمر را تغییر دهید تا ولتاژ اعمال شده به کوره حدود 60 ولت گردد. صبر کنید تا ترموستات کوره را قطع و دمای کوره یکنواخت گردد. مجددا با

استفاده از کلید مورس و لغزنده جریان گالوانمتر را صفر کرده و ضمن قرائت دمای θ_2 ، طولهای L_2, L_1 را اندازه گیری و در جدول ثبت کنید.

11. عملیات فوق را تکرار کنید تا در نهایت به دمای حدود 200 درجه بر سید. با ا ستفاده از اعداد جدول R را به ازای هر دمای محاسبه و منحنی R را برحسب θ ترسیم کنید.
12. ملاحظه خواهید نمود که منحنی بصورت خط مستقیم حاصل می شود. ضریب زاویه آن $\alpha R(0)$ و عرض از مبدا آن $R(0)$ است. با استفاده از این منحنی ضریب گرمایی مقاومت α و مقاومت دمای صفر سلسیوس فلز $R(0)$ را محاسبه کنید.

آزمایش 2: اندازه گیری مقاومت یک نیمرسانا در دمای اتاق و بالاتر

1. مقاومت نجیب را از کوره خارج کنید (به کمک دستکش نسوز و یا وسیله دیگری که منجر به سوختگی دست شما نشود و آن را طوری قرار دهید تا به میز آزمایشگاه صدمه نزند- زیرا اگر قبلا با آن کار کرده اید ممکن است دمای آن بالا و حدود 200 درجه باشد- و به جای آن مجموعه مقاومت نیمرسانا را قرار دهید و حسگر دما را از سوراخ پشت کوره درون سوراخ مرکزی مجموعه مقاومت نموده و در نزدیکی مقاومت نیمرسانا تثبیت کنید.
2. اگر کوره قبلا گرم شده ا ست پیچ دیمر را صفر کنید و در حالیکه دمای کوره کاهش می یابد آزمایش را به روش قبلی دنبال کنید. به ازای دماهای دلخواه θ با استفاده از کلید مورس و لغزنده پل تار، جریان گالوانمتر را صفر نموده و طولهای L_2, L_1 را اندازه گیری و در جدول ثبت کنید. برای دستیابی به دقت بیشتر، اگر طول کمتر از 25 سانتی متر شد مقدار مقاومت جعبه مقاومت را کاهش دهید و اگر بیشتر از 75 سانتی متر شد مقدار آن را افزایش دهید و حتی المقدور سعی کنید که طولهای L_2, L_1 کمتر از 25 سانتی متر نشود.
3. منحنی تغییرات مقاومت را با دما ترسیم نمایید.
4. ممکن است مقاومت نیمرسانا در دمای اتاق (25^{0c}) بیش از 1000Ω باشد و در صورت بردن آن به دماهای زیر صفر، تا بیش از $15k\Omega$ افزایش یابد. لذا در صورت نیاز، $LogR$ را برحسب دمای θ رسم کنید.

دستور کار در آزمایشگاه حالت جامد

توجه: در صورتیکه مایل با شید آزمایش را برای دماهای پایین تر از صفر سلسیوس انجام دهید از روش زیر استفاده نمایید.

روش الف:

مقداری ازت مایع درون یک فلاســـک یا کالریمتر بریزید و مجموعه مقاومت را همراه با حس گر دمای آن در بالای کالریمتر بیاویزید و بادور نمودن یا نزدیک کردن آن به ســطح ازت مایع به دماهای بالاتر و یا پایین تر دســت یابید. حسگر دما تا -50^{0c} قادر به قرائت دقیق دما می باشد برای دماهای پایین تر از دماسنج مناسب استفاده کنید.

روش ب

درون یک ظرف مناسب که در ته آن سوراخی برای خارج شدن مایع وجود داشته باشد، مقداری یخ خرد شده که با نمک مخلوط نموده اید بریزید و درون آن یک استوانه فلزی که مجموعه مقاومت را درون آن قرار داده و از بدنه عایق نموده اید قرار دهید. با قرائت دما و اندازه گیری های مربوطه مقدار مقاومت را اندازه گیری کنید.

آزمایش خواص مغناطیسی مواد

هدف آزمایش:

- بررسی خواص مغناطیسی مواد و شناسایی مواد پارامغناطیس، دیامغناطیس و فرومغناطیس و رفتار آنها در میدان مغناطیسی ناهمگن

ملاحظات نظری:

میدان مغناطیسی در مواد مغناطیسی:

فرض کنید یک جسم همگن با حجم V در میدان مغناطیسی یکنواخت با شدت H و القای $\mathrm{B}_0 = \mu_0 H$ قرار داده ایم. در اثر میدان جسم، مغناطیده شده و دارای گشتاور مغناطیسی M می گردد. نسبت گشتاور مغناطیسی به حجم جسم را مغناطیدگی J_m می نامند.

$$J_m = \frac{M}{V}$$

و وقتی که مغناطیدگی همگن نباشد برابر است با:

$$J_m = \frac{dM}{dV}$$

مغناطیدگی یک بردار است، در اجسام مغناطیسی همگن، $\overrightarrow{J_m}$ یا موازی و یا ضد موازی با $\overrightarrow{H}$ است.

واحد گشتاور مغناطیسی در دستگاه SI، آمپر- مترمربع و مغناطیدگی آمپر بر متر است. نسبت مغناطیدگی J_m به شدت میدان مغناطیسی H را پذیرش مغناطیسی χ می نامند.

$$\chi = \frac{J_m}{H}$$

بسادگی می توان دید که χ کمیتی فاقد بعد می باشد و داریم:

$$J_m = H\chi$$

یک جسم مغناطیده که در میدان مغناطیسی خارجی قرار گرفته باشد میدان ذاتی خود را، صرفنظر از مرزهای خارجی خود، در جهت موازی و یا ضد موازی با میدان خارجی ظاهر می سازد.

اگر شدت القا خارجی را با B_0، میدان القایی را با B_1 و میدان برایند را با B نشان دهیم. برای مواد مغناطیسی همگن B از جمع جبری B_0 و B_1 حاصل می شود.

$$B = B_0 + B_1$$

آزمایشات نشان می دهد که:

$$B_1 = \mu_0 J_m = \chi B_0 \Rightarrow B = B_0(1+\chi) = \mu B_0 = \mu\mu_0 H$$

که $\mu = 1+\chi$ گذردهی مغناطیسی می باشد.

واحد شدت میدان مغناطیسی H در دستگاه واحدهای SI، آمپر بر متر و واحد القاء مغناطیسی B تسلا (T) می باشد.

خواص مغناطیسی جامدات:

کلیه مواد را با توجه به قدر مطلق و علامت پذیرش مغناطیسی آنها می توان به سه گروه بزرگ پارامغناطیس، دیا مغناطیس و فرو مغناطیس ها تقسیم نمود. (به جدول 1 مراجعه کنید)

χ فرو مغناطیس ها		χ پارامغناطیس ها		$\chi = (\mu - 1)$ دیامغناطیس ها	
1000	Fe	580×10^{-5}	Cao	-18×10^{-5}	Bi
150	Ni	360×10^{-5}	$FeCl_2$	-0.9×10^{-5}	Cu
240	Co	26×10^{-5}	$NiSo_4$	-0.8×10^{-5}	Ge
		26×10^{-5}	Pt	-0.3×10^{-5}	Si

	Al	

دیا مغناطیس ها و پارامغناطیس ها :

برای دیا مغناطیس ها ($|\chi|<1$) و χ منفی و مستقل از شدت میدان مغناطیسی خارجی و دما ست. این گونه مواد در خلاف جهت میدان خارجی مغناطیده می شـــوند و به همین دلیل از منطقه قویتر میدان خارجی به بیرون رانده می شوند.

پارامغناطیس ها نیز دارای $|\chi|<1$ هستند، لیکن بر خلاف دیا مغناطیس ها χ مثبت است. چنین اجسامی در جهت میدان خارجی مغناطیده شده و به داخل مناطقی که H بیشینه است کشیده می شوند.

شکل $1a$ وابستگی J_m به شدت میدان را برای دیا مغناطیس ها (منحنی 1) و برای پارا مغناطیس ها (منحنی2) نشان می دهد.

در هر دو حالت J_m با H متناسب است که نشان دهنده مستقل بودن χ از H می باشد. در عین حال برای پارا مغناطیس ها این امر فقط برای میدان های ضعیف و دماهای بالا صادق است. در میدانهای قوی و دماهای پایین منحنی $J_m(H)$ با یک مقدار حدی J_s مجانب می گردد (شکل $1b$)، که نشانه اشباع مغناطیسی ماذه پارا مغناطیس است. ضمنا χ اجسام پارا مغناطیس به دما وابسته است. این بستگی اولین بار توسط پیرکوریمورد مطالعه قرار گرفت. او نشان داد که :

$$\chi = \frac{C}{T}$$

T دمای مطلق ماده پارامغناطیس و C مقدار ثابتی است که به طبیعت آن ماده بستگی دارد و ثابت کوری نامیده می شود.رابطه اخیر به قانون کوری مشهور است.

فرومغناطیس ها:

مواد فرومغناطیس که معروفترین آنها آهن است دارای χ مثبت بوده که به مراتب بزرگتر از χ پارامغناطیس ها می باشد. ضمنا χ وابسته به H است.

این گروه علاوه بر آهن شامل نیکل، کبالت،گادولینیوم، دیسپروسیم، هلمیم، اربیم و برخی آلیاژهاست.

قاعده حاکم بر مغناطیدگی اولین بار توسط فیزیکدان روسی استولتف کشف گردید. شکل $2a$ ارتباط القاء مغناطیسی B و شکل $2b$ ارتباط مغناطیدگی J_m و شکل $2c$ ارتباط پذیرش مغناطیسی χ را با H برای آهن نرم نشان می دهد.

B و J_m ابتدا با اضافه شدن میدان مغناطیسی به سرعت افزایش می یابند لیکن سرعت افزایش آنها کاهش یافته در یک H_s در حوالی مقدار بیشینه J_s متوقف می گردد. هرگونه افزایش اضافی دیگر مربوط به افزایش H است. این حالت نشان دهنده اشباع تکنیکی فرو مغناطیس است زیرا در این حالت χ به صفر میل می کند.

مطالعه دقیق منحنی مغناطیدگی نشان می دهد بتدریج که H اضافه می شود، J_m بصورت پیوسته افزایش نمی یابد بلکه بصورت پله ای زیاد می شود. (به شکل $2a$ نگاه کنید به قسمتی از منحنی b که در دایره بزرگ شده است دقت نمایید.) این امر مخصوصا در منطقه ای که شیب منحنی مغناطیدگی بیشتر است بهتر ظاهر می گردد. این بخش از منحنی تعداد زیادی پله را شامل می شود که هر یک پرش های مربوطه به تغییرات J_m را با افزایش پیوسته H بیان می کند. این طبیعت پله وار فرایند مغناطیدگی، اولین بار توسط " هنریش بارک هاوزن" کشف شد و اثر بارک هاوزن نام گرفت.

روش آزمایش:

وسایل آزمایش:

میله های مغناطیسی 3عدد (پارا، دیا و فرو مغناطیس) با نگهدارنده
الکترو مگنت0/6 تسلا
منبع تغذیه $0-20v,10A$ DC
نور افکن با منبع تغذیه مربوطه
گبره چند منظوره و سیم های رابط.
عدسی $f=100mm$ با نگهدارنده
پایه V شکل بزرگ
پرده مات
پایه ساده 3 عدد
میله 2 عدد

1. سه قطعه میله مغناطیسی را که طول هر یک حدود یک سانتیمتر است بردارید و به وسط هر یک نخی بسیار نازک به طول تقریبی 15 سانتیمتر ببندید تا بتوان میله ها را آویزان کرد.
2. قطب های مخروطی الکترومگنت را طوری نصب کنید که بین نوکهای تیز آنها حدود 12 میلیمتر فاصله باشد تا بتوان میله های مغناطیسی را بین آنها قرار داد.

3. میله ای را درون ســـه پایه محکم کنید و به کمک گیره چند منظوره میله دیگری را عمود بر آن نصـــب و نگهدارنده میله های مغناطیســـی را به انتهای آن ببندید. نخ یکی از میله های مغناطیســـی را از حلقه نگهدارنده بگذرانید و محکم کنید. الکترومگنت را روی میز قرار داده و نورافکن را پشـــت آن و عدســـی با فاصله کانونی $100mm$ را جلوی آن و پرده مات را بعد از آن مطابق شکل نصب کنید.
4. پرده و عدســی را جابجا کنید بطوریکه پس از روشــن کردن نورافکن که نور آن به قطبهای آهنربا می تابد، تصویر واضحی از قطب های آهنربای الکتریکی روی پرده ظاهر گردد. یکی از میله های مغناطیسی را بین قطب های الکترومگنت آویزان کنید و به کمک نگهدارنده و چرخانیدن قلاب ترتیبی دهید که میله در امتداد قطبهای آهنربا قرار گیرد و تصـویر آن روی پرده ظاهر گردد. الکترومگنت را به منبع متصـل کنید و جریانی از آن بگذرانید.

نتیجه مشاهدات:

- اگر میله مغناطیســـی دیامغناطیس باشـــد، دوران کرده و در امتداد عمود بر امتداد قطبهای آهنربا قرار می گیرد همچنین از بین قطبها به بیرون حرکت می نماید.
- اگر میله مغناطیسی پارا مغناطیس باشد، به آهستگی حرکت کرده و ضمن اینکه در امتداد قطبها قرار می گیرد به یکی از قطبهای چسبیده و اگر میله مغناطیسی از نوع فرومغناطیس باشد به شدت حرکت کرده و ضـــمن اینکه در امتداد قطبها قرار می گیرد، با نیروی زیادی به یکی از قطبها که به آن نزدیکتر اســـت می چسبد.

1. جریان الکترومگنت را صـفر کنید و آن را به موازات خود بطرف عقب بکشـید. بطوریکه از میله مغناطیســی آویخته شده حدود 3 سانتی متر فاصله بگیرد.
2. مطابق شـــکل میله پارامغناطیس را 90 درجه بچرخانید بطوریکه در امتداد عمود بر امتداد قطبهای الکترومگنت قرار گیرد. حال جریان الکترومگنت را برقرار کنید ملاحظه خواهید کرد که میله مغناطیســـی قدری به طرف الکترومگنت حرکت نموده و حول نخ نوســـاناتی با فرکانس کم انجام خواهد داد که علت آن وجو اینرسی دورانی میله و گشتاور نیروی مغناطیسی وارد بر آن که از رابطه $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$ بدست می آید.

$\vec{\mu}$ گشتاور مغناطیسی میله است که به علت کوچک بودن آن، گشتاور نیرو نیز کوچک و لذا نوسانات با فرکانس کم صورت می گیرد.

3. حال به جای میله پارامغناطیس، میله فرومغناطیس را قرار دهید و همین آزمایش را تکرار کنید، با توجه به وضعیت حرکت میله (انتقالی و نوسانی) علت را تشریح کنید.

اکنون همین آزمایش را با میله دیا مغناطیسی تکرار و نتیجه را توضیح دهید.

تعیین چگالی و قابلیت حرکت حاملهای بار در ژرمانیوم نوع P

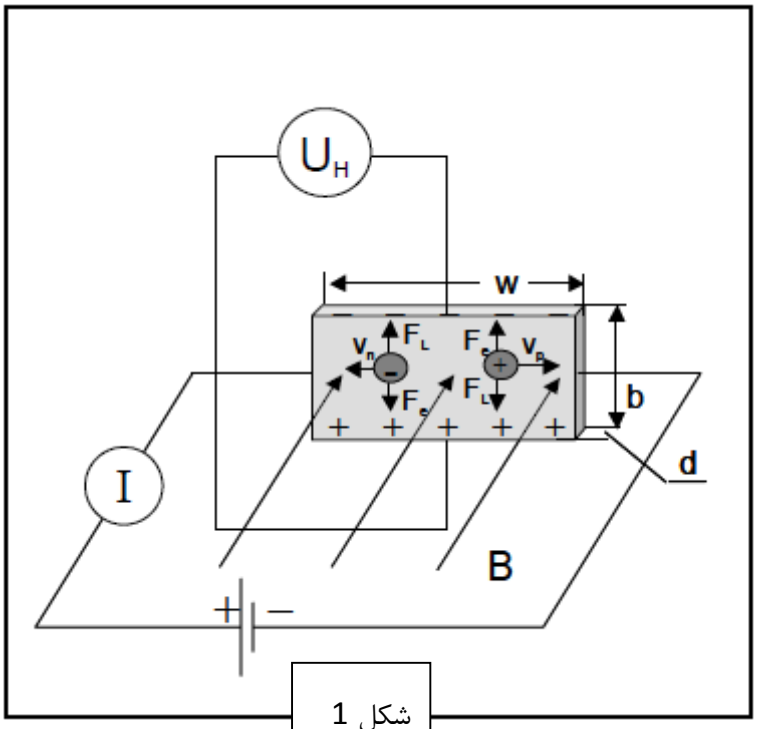
اهداف آزمایش:

- با اندازه‌گیری ولتاژ هال به صورت تابعی از جریان عبوری از صفحه در میدان مغناطیسی معین چگالی و تحرک‌پذیری حاملهای بار را تعیین نماییم.
- با اندازه‌گیری ولتاژ هال به صورت تابعی از میدان مغناطیسی در جریان عبوری معین از صفحه ضریب هال را تعیین کنیم.
- ولتاژ هال را به عنوان تابعی از دما بررسی کنیم و با استفاده از نتایج آزمایش تغییرات هدایت الکتریکی را بررسی نماییم.

لطفا قبل از ورود به کلاس آزمایشگاه به سوالات زیر پاسخ دهید:

1. نیمه رسانای نوع n و p چه هستند؟
2. تحرک پذیری الکترون یعنی چه؟
3. گاف انرژی در نیمه رسانا به چه معنی است؟
4. نیمه رسانای ذاتی و غیرذاتی به چه معنا هستند؟
5. پذیرنده و دهنده در یک نیمه رسانا به چه معنی است؟

ملاحظات نظری:



شکل 1

می‌توان گفت مهمترین آزمایش برای تعیین پارامتر های میکروسکوپی ترابرد الکترون در فلزات آزمایش هال است. در این آزمایش برای اندازه‌گیری ولتاژ هال، یک صفحه ژرمانیوم نوع P در یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار داده شده است (شکل1). در صورتی که از این صفحه جریان بگذرد، یک میدان عرضی (ولتاژ

هال) که متناسب با جریان و میدان است طبق اثر هال در آن ایجاد می‌شود:

$$U_H = R_H \frac{I.B}{d} \qquad (1)$$

R_H ثابت هال است که مقدار آن به جنس ماده و دما وابسته است. در شرایط تعادل، (یعنی آنچه در شکل 1 ملاحظه می کنید) برای میدان های مغناطیسی ضعیف ثابت هال R_H بر حسب تابعی از چگالی حاملهای بار و تحرک پذیری الکترونها و حفره ها بیان می شود:

$$R_H = \frac{1}{e_0}.\frac{p\mu_p{}^2 - n\mu_n{}^2}{(p\mu_p - n\mu_n)^2} \qquad (2)$$

$P = P_E + P_S$ چگالی کل حفره ها

p_s چگالی حفره ها (هدایت حفره ها به دلیل آلاییدگی نوع P)

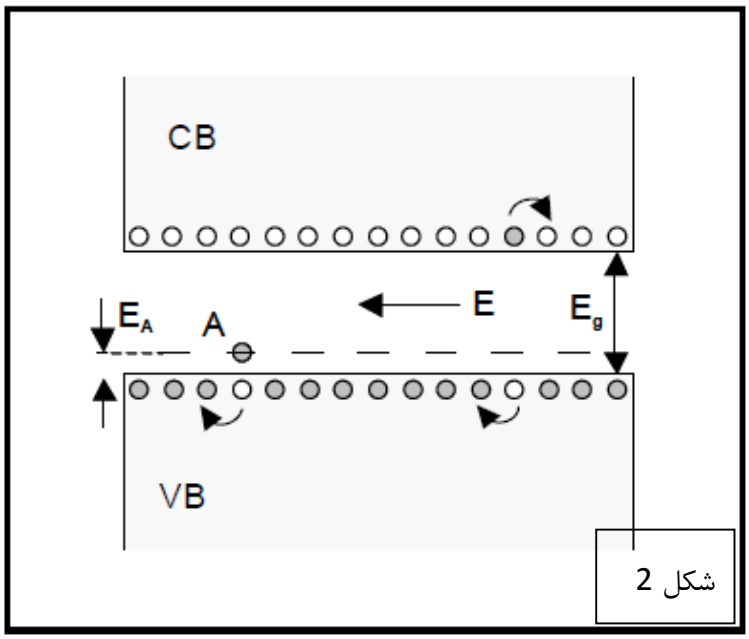
p_E چگالی حفره ها (هدایت ذاتی)

μ_n تحرک‌پذیری الکترون ها، μ_p تحرک‌پذیری حفره ها

$n = n_e$ چگالی الکترونها (هدایت ذاتی)

طبق معادله (2) با استفاده از جهت جریان و میدان مغناطیسی می توان نوع حاملهای بار غالب را پیدا کرد. هر چه عرض صفحه هال کمتر باشد ولتاژ هال بالاتر خواهد بود.

آلاییدن شبکه بلور ژرمانیوم با عناصر گروه سوم جدول تناوبی مثل B, Al ,In یا Ga، باعث ایجاد حفره های مثبت در نوار ظرفیت می شود (شکل 2). وقتی به ژرمانیوم 4 ظرفیتی ناخالصی آلومینیم که سه ظرفیتی است افزوده می‌شود، تراز انرژی اتم های AL که اتم های پذیرنده نامیده می شوند، درست بالای نوار ظرفیت ژرمانیوم قرار می‌گیرد. با سه اتم Ge مجاور پیوند جفت الکترونی منظمی تشکیل می‌دهد. اما با چهارمین اتم Ge فقط یک پیوند تک الکترونی تشکیل می‌دهد. از آن جا که رسانش الکتریکی در این نوع نیم رسانا عمدتاً شامل حرکت حفره های مثبت است این نوع نیم رسانا، نوع P نامیده می‌شود. انرژی فعال سازی آنها E_A در حدود $0.01eV$ است و نوعا خیلی کمتر از انرژی نوار ممنوعه است.



شکل 2: نمایش بارهای ذاتی (راست) و آلاییده(چپ) تحت اثر میدان الکتریکی E:

با غلبه الکترونهای نوار ظرفیت بر انرژی نوار ممنوعه جریان ذاتی الکترونها و حفره ها جاری می گردد. در دمای اتاق، چگالی حفره های ایجاد شـــده توســـط آلایش p_s از چگالی حاملهای بار ذاتی p_E یا n_e خیلی بیشـــتر اســـت $(n = n_e = p_e \approx 0)$ ترابرد بار عمدتا تو سط حفره های ایجاد شده تو سط آلایش صورت می گیرد. چگالی p_s با اندازه گیری ولتاژ هال بر حسب جریان گذرنده از صفحه ژرمانیوم تعیین می شود. با تلفیق روابط (1) و (2) به رابطه (3) می رسیم:

$$p = \frac{B}{e_0 d}\frac{1}{U_H} \qquad (3)$$

تحرک پذیری به عنوان معیاری از برهم کنش بین حاملهای بار با شبکه بلور ا ست و در نیم ر سانای نوع P به صورت زیر تعریف می شود (V_p سرعت سوق):

$$\mu_p = \frac{V_p}{E} \qquad (4)$$

E میدان الکتریکی به دلیل کاهش ولتاژ است که به وسیله رابطه زیر تعریف می شود:

$$E = \frac{U}{w} \qquad (5)$$

سـرعت سـوق V_p در شـرایط تعادل تعیین می شـود یعنی حالتی که نیروی لورنتس، نیروی ناشـی از میدان هال را خنثی می کند (شکل1):

$$e_0 v_d .B = e_0 .E_H \qquad (6) \qquad E_H = b.U_H$$

$$v_d = \frac{U_H}{b.B} \qquad (7) \Rightarrow \mu_p = \frac{U_H .w}{b.B.U} \qquad (8)$$

جریان در شبکه نیمرسانا ناشی از جریانهای الکترونها و حفره ها است (شکل2):

$$I = b.d\,(n_p .\mu_p + n_n .\mu_n) \qquad (9)$$

چگالی حاملها به غلظت آلاینده و دما مربوط می شود. برای ژرمانیوم آلاییده نوع P سه ناحیه می توان در نظر گرفت: در دماهای خیلی پایین برانگیختگی الکترونها از باند ظرفیت به باند پذیرنده ها تنها منبع حاملهای بار هستند. چگالی حفره ها p_s با دما افزایش می یابد و میتوان از جریان ناشـی از حاملهای ذاتی صـرفنظر کرد. با افزایش بیشـتر دما الکترونها از نوار ظرفیت به نوار رسانش می روند و جریان بار ذاتی در افزایش میزان جریان کل کمک می کند و نهایتا جریان غالب جریان ناشی از حاملهای ذاتی خواهد شد. این روند با اندازه گیری ولتاژ هال بر حسب دما قابل مشاهده است.

تحرک پذیری الکترونها و حفره ها یکسان نیست بنابراین نسبت آنها را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$k = \frac{\mu_n}{\mu_p} \qquad (10)$$

معادله (2) را می توان به صورت زیر نوشت:

$$R_H = \frac{1}{e_0}.\frac{p - n.k^2}{(p + n.k)^2} \qquad (10)$$

در نیمه رسانای غیر آلاییده وابستگی دمایی حاملهای بار به صورت زیر تعیین می شود:

$$n = n_0 e^{\frac{E_g}{2.k_B .T}}$$

$$p = p_0 e^{\frac{E_g}{2.k_B .T}}$$

$$k_B = 1.36\times10^{-23} J/K : Boltzman\ cons\tan t \qquad (11)$$

$$n.p = n_e.(p_e + p_s) = \eta^2 \qquad (12)$$

$$\eta^2 = N_0 e^{\frac{E_g}{k_B.T}} \qquad (13)$$

وقتی آلاینده ها عامل عمده هدایت الکتریکی با شند، چگالی p_s با رابطه (3) تعیین می شود. در مورد حاملهای بار ذاتی $p_e = n_e$ منجر به رابطه مربعی زیر می شود:

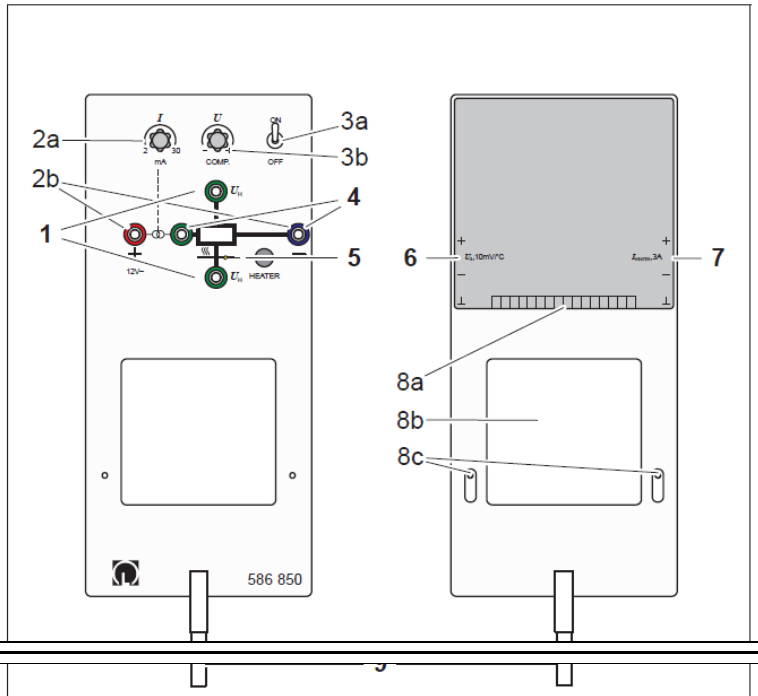
$$p_e = -\frac{p_s}{2} + \sqrt{\frac{{p_s}^2}{4} + \eta^2} \qquad (14)$$

با ا ستفاده از روابط (10) و (14) و همچنین $p = p_e + p_s$ و $n = n_e$ وابستگی دمایی ولتاژ هال شبیه سازی می شود.

روش آزمایش

وسایل آزمایش:

صفحه مربوط به اثر هال ژرمانیوم نوع P و پایه های آن
حسگر CASSY
منبع تغذیه AC/DC (با شماره 521501)
منبع تغذیه DC (با شماره 521545)
منبع تغذیه DC (با شماره 521541)
دو سیم پیچ 250 دوری
کامپیوتر مجهز به نرم افزار CASSY
تسلامتر



1 Output for Hall voltage
2 Current source
cross-current adjuster (2a)
input for supply voltage (2b)
3 Compensation
on/off switch (3a), compensation knob (3b)
4 Output for voltage drop at Ge crystal
5 HEATER key, with LED
6 Temperature measuring output
7 Power input for heating and electronic

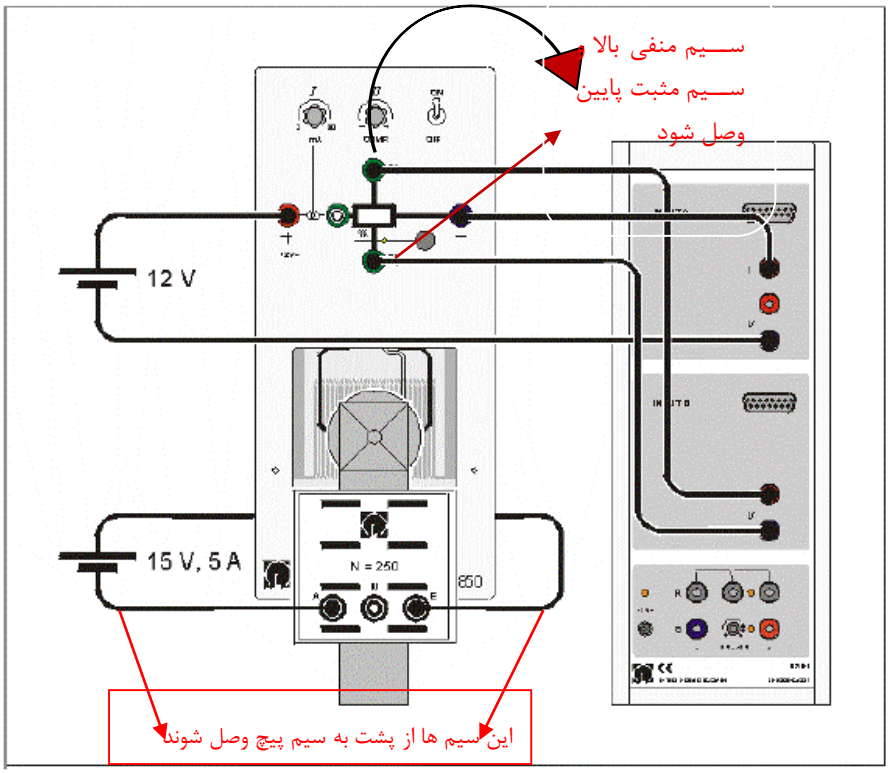
8 Mounting for plug-in boards

DIN socket (8a), window (8b), holes (8c)

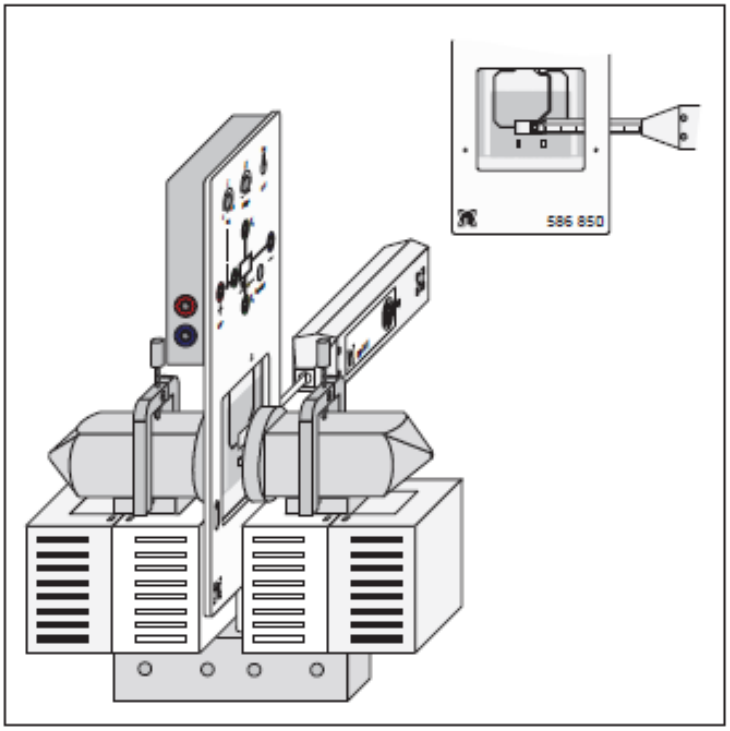
9 Rod, with stop

انجام آزمایش

1. ستاپ آزمایش را مانند شکل زیر برپا کنید.



1. برای اندازه گیری میدان مغناطیسی تسلامتر (B) را مانند شکل تنظیم کنید.



2.

3. برای اندازه گیری جریان I سیم های ارتباطی را به ورودی A حسگر CASSY متصل کنید.

توجه: به علت مقاومت مخصـــوص بالای ژرمانیوم نوع P ، بلور در حین عبور جریان گرم می شود. بنابراین جریان عبوری از نیم ر سانا را هرگز بالاتر از 33 mA نبرید.

4. برای اندازه گیری ولتاژ هال سیم های ارتباطی را به ورودی B حسگر CASSY وصل کنید.
5. جریان عبوری (2b) را در حداکثر مقدار خود قرار داده و با کلید (2a) سیستم را روشن کنید و ولتاژ هال را صفر کنید.
6. نرم افزار برنامه مورد نظر در دسکتاپ کامپیوتر شما قرار دارد آنرا اجرا کنید.
7. برای اندازه گیری ولتاژ هال (ورودی B حسگر CASSY) بر حسب تابعی از جریان (ورودی A حسگر CASSY) در حالی که اتصالات برقرار است کلید را بفشارید و منحنی حاصله را با نام خود در پوشه دانشجویان که بر روی دسکتاپ قرار دارد ذخیره کنید.
8. تسلامتر را به ورودی A حسگر CASSY وصل کنید.
9. جریان عبوری (2b) را در حداکثر مقدار خود قرار داده ولتاژ هال را صفر کنید.
10. برای اندازه گیری ولتاژ هال (ورودی B حسگر CASSY) بر حسب تابعی از میدان مغناطیسی (ورودی A حسگر CASSY) در حالی که اتصالات برقرار است کلید را بفشارید و منحنی حاصله را با نام خود در پوشه دانشجویان که بر روی دسکتاپ قرار دارد ذخیره کنید.
11. جریان عبوری (2b) را در حداکثر مقدار خود قرار داده ولتاژ هال را صفر کنید.
12. میدان مغناطیسی را نیز در یک مقدار دلخواه قرار دهید.

13. برای اندازه گیری ولتاژ هال (ورودی B حسگر CASSY) بر حسب تابعی از دما (ورودی A حسگر CASSY) در حالی که اتصالات برقرار است کلید  را بفشارید و منحنی حاصله را با نام خود در پوشه دانشجویان که بر روی دسکتاپ قرار دارد ذخیره کنید.
14.
15. با توجه به توضیحاتی که در قسمت ملاحظات تئوری مطالعه کردید و با توجه به این که $d = 1\times10^{-3}m, b = 10mm, w = 20mm$ چگالی حاملهای بار را در هر قسمت چگونه استخراج می کنید؟
16. تحرک پذیری حاملها را چگونه استخراج می کنید؟
17. آیا سرعت سوق نیز با توجه به نمودارهایی که ذخیره کرده اید قابل استخراج است؟

آیا در یک نیم رسانای خالص و غیر آلاییده اثر هال مشاهده میشود؟ توضیح دهید.

تعیین گاف انرژی ممنوعه ژرمانیوم

اهداف آزمایش:

- **تعیین گاف انرژی E_g ژرمانیوم.**
- **تعیین مقدار افت ولتاژ کریستال غیرآلاییده ژرمانیوم به صورت تابعی از دما وقتی جریان عبوری از آن مقدار ثابتی است و تعیین رسانندگی σ .**

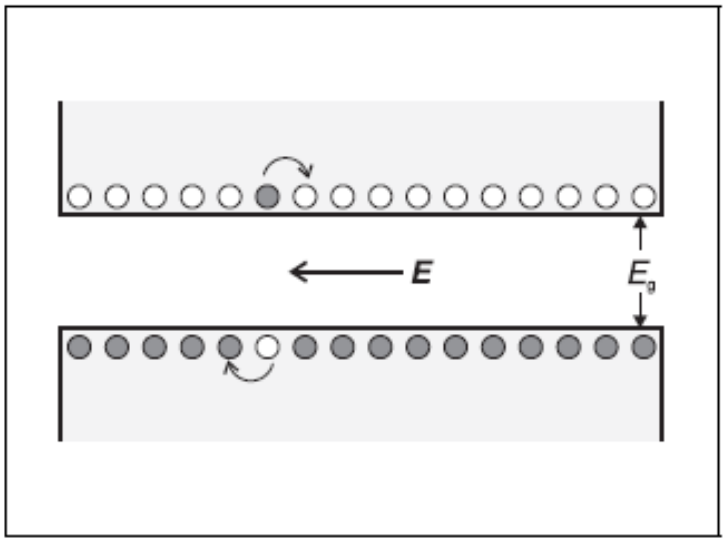
مبانی آزمایش:

طبق قانون اهم اگر ماده ای تحت تاثیر میدان الکتریکی قرار گیرد پاسخ سیستم به میدان ایجاد یک جریان در ماده است:

$$j = \sigma E \qquad (1)$$

به ضریب تناسب σ رسانندگی گفته می شود. با توجه به این که رسانندگی به جنس ماده وابسته است، مواد را بر اساس رسانندگیشان تقسیم بندی می کنند. به عنوان مثال، نیمه رساناها موادی هستند که در دماهای پایین جریان الکتریکی را هدایت نمی کنند ولی در دماهای بالا رسانندگی خیلی خوبی دارند. دلیل این وابستگی دمایی ساختار نوار انرژی نیم رساناها است.

نوار ظرفیت یعنی نواری که در حالت پایه یا کاملا پر است یا نسبتا پر است و نوار رسانش با یک نوار انرژی ممنوعه از هم جدا شده اند. این انرژی برای بلور ژرمانیوم در حدود $E_g = 0.7eV$ است و در یک نیم رسانای خالص در این نوار هیچ الکترونی نمی تواند حضور داشته باشد.هر چه دما افزایش می یابد الکترونهای بیشتری با دریافت انرژی گرمایی به نوار هدایت می روند و آنچه از آنها در نوار ظرفیت باقی می ماند یک جای خالی است که به آن حفره گفته می شود. حفره ها عدم حضور بار منفی هستند و مانند یک بار مثبت می توانند حرکت کنند و مانند الکترونها در رسانش بار الکتریکی سهیم باشند (به شکل زیر توجه کنید)



رسانشی که به این ترتیب بوجود می آید به رسانش ذاتی موسوم است. از آنجا که در حال تعادل گرمایی تعداد الکترونهای نوار رسانش و حفره های نوار ظرفیت برابرند، دچگالی جریان رسانش ذاتی را به صورت زیر می توان نوشت:

$$j_i = (-e).n_i.v_n + e.n_i.v_p \qquad (3)$$

n_i غلظت الکترونها یا حفره ها ست که در مورد نیم ر سانای غیر آلاییده برابرند. سرعت سوق متو سط v_n یا v_p الکترونها و حفره ها متناسب با میدان الکتریکی است.

$$v_p = \mu_p.E \quad and \quad v_n = -\mu_n.E \qquad (3)$$

در این روابط تحرک پذیری الکترون μ_n و تحرک پذیری حفره μ_p مقادیر مثبت در نظر گرفته شده اند:

$$j_i = e.n_i.(\mu_n + \mu_p).\mathrm{E} \qquad (4)$$

با مقایسه روابط (4) و (1) به رابطه زیر برای رسانندگی می رسیم:

$$\sigma_i = e.n_i.(\mu_n + \mu_p) \qquad (5)$$

n_i غلظت حاملهای ذاتی و چگالی موثر حالتها در نوار رسانش N و چگالی موثر حالتها در نوار ظرفیت P نیز از روابط زیر حاصل می گردد (در این رابطه E_g گاف انرژی ژرمانیوم و k ثابت بولتزمن و جرم موثر الکترون m_n و جرم موثر حفره m_p است):

$$n_i = (N.P)^{\frac{1}{2}}.e^{-\frac{E_g}{2kT}} (6) \Rightarrow \begin{cases} N = 2.(\dfrac{2\pi.m_n.kT}{h^2})^{\frac{3}{2}} \\ P = 2.(\dfrac{2\pi.m_p.kT}{h^2})^{\frac{3}{2}} \end{cases} \qquad (7)$$

تحرک پذیری الکترون μ_n و تحرک پذیری حفره μ_p تابع دما هستند. در دماهای بالا این وابستگی به صورت $\mu \propto T^{-\frac{3}{2}}$ است. با توجه به رابطه (6) رسانندگی به صورت زیر نوشته می شود:

$$\sigma_i = \sigma_0 e^{-\frac{E_g}{2kT}} \Rightarrow \ln \sigma_i = \ln \sigma_0 - \frac{E_g}{2kT} \qquad (8)$$

با توجه به رابطه فوق رسانندگی ژرمانیوم غیرآلاییده در جریان معین و به عنوان تابعی از دما تعیین می گردد:

$$I = jbc \qquad (9)$$

b عرض و c ضخامت و a طول بلور حالت جامد مورد مطالعه است.

$$U = Ea \qquad (10)$$

با استفاده از روابط (1) و (5) و (6) رسانش به صورت زیر نوشته می شود:

$$\sigma = \frac{a}{bc} \cdot \frac{1}{U} \qquad (11)$$

روش آزمایش

وسایل مورد نیاز:

صفحه ژرمانیوم غیرآلاییده با پایه اثر هال

حسگر CASSY

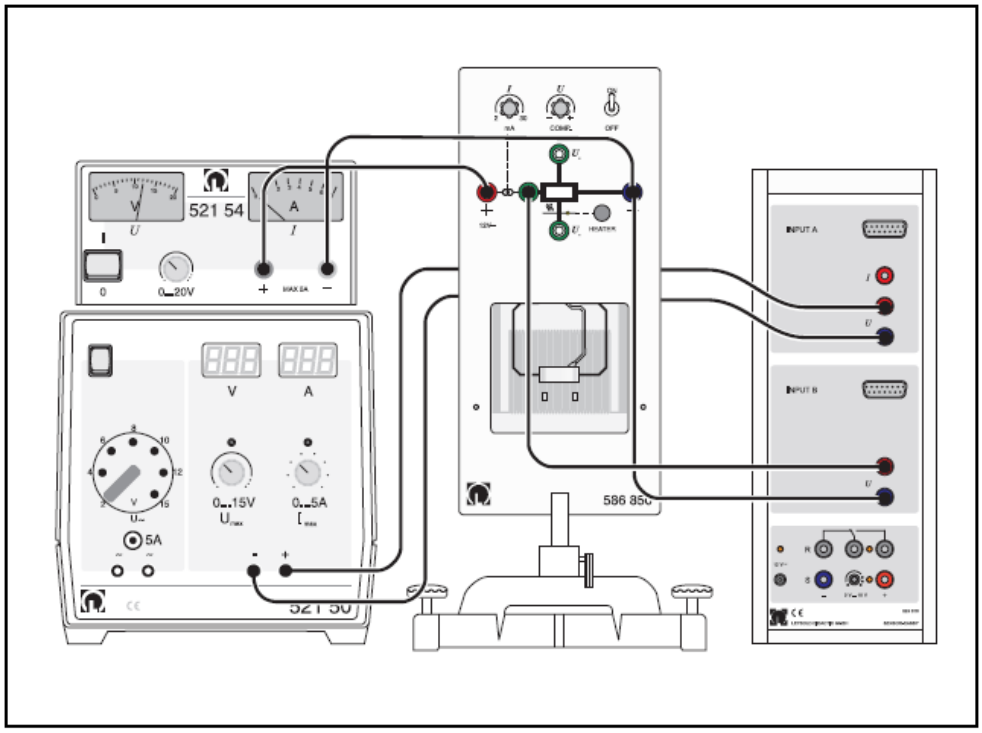
منبع تغذیه جریان مدل 50 521

منبع تغذیه مدل 54 521

کامپیوتر مجهز به نرم افزار CASSY

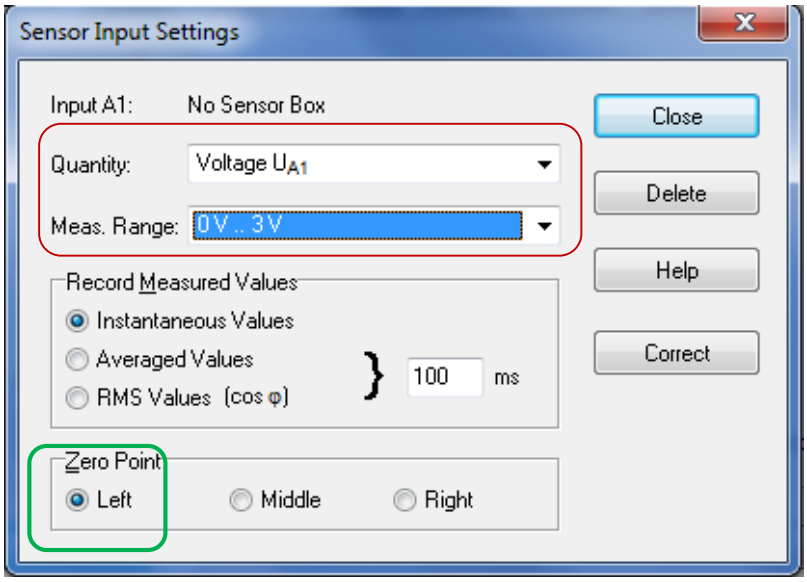
انجام آزمایش:

1. آزمایش را مانند شکل زیر برپا کنید.

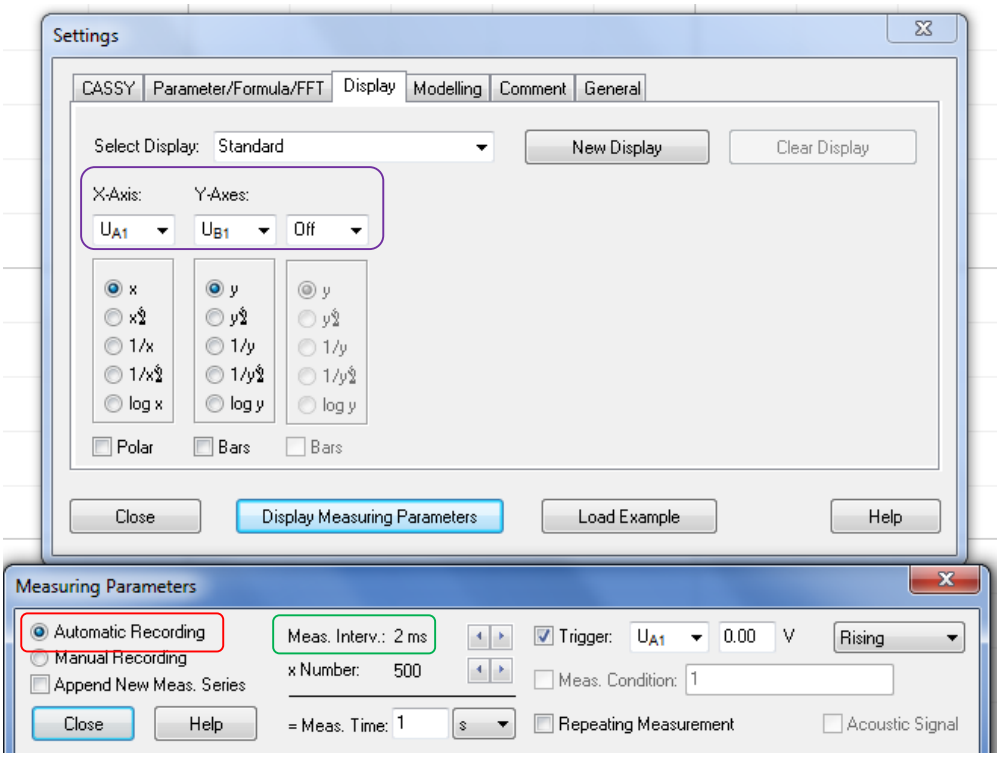


توجه: بلور ژرمانیوم به شـدت شـکننده اسـت صـفحه حاوی بلور را به آرامی جابجا کنید و از زدن ضربه یا وارد کردن شُک به آن بپرهیزید. به دلیل مقاومت مخصوص بالای این ژرمانیوم حتی با عبور جریان نیز گرم می شـــود بنابراین در این آزمایش جریان عبوری از بلور را از مقدار $I = 4mA$ بیشتر افزایش ندهید.

2. کلید کنترل جریان عبوری بر روی صفحه اثر هال را تا انتها به سمت چپ بچرخانید.
3. نرم افزار CASSY را از دسکتاپ کامپیوتر خود اجرا کنید و اتصالات را مجددا چک کنید.
4. با استفاده از کلید F5 یا کلید  بر روی گزینه "Update Setup" کلیک کنید.
5. بر روی کانال A کلیک کنید و آنرا به صورت زیر تنظیم کنید.



6. همین تنظیمات را برای کانال B نیز انجام دهید.

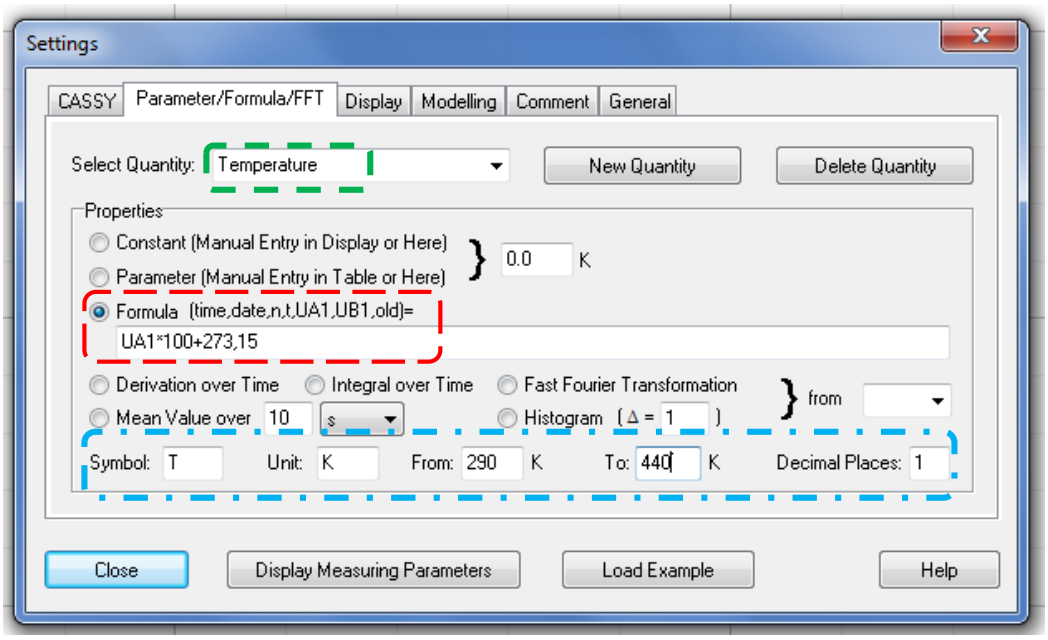


7.

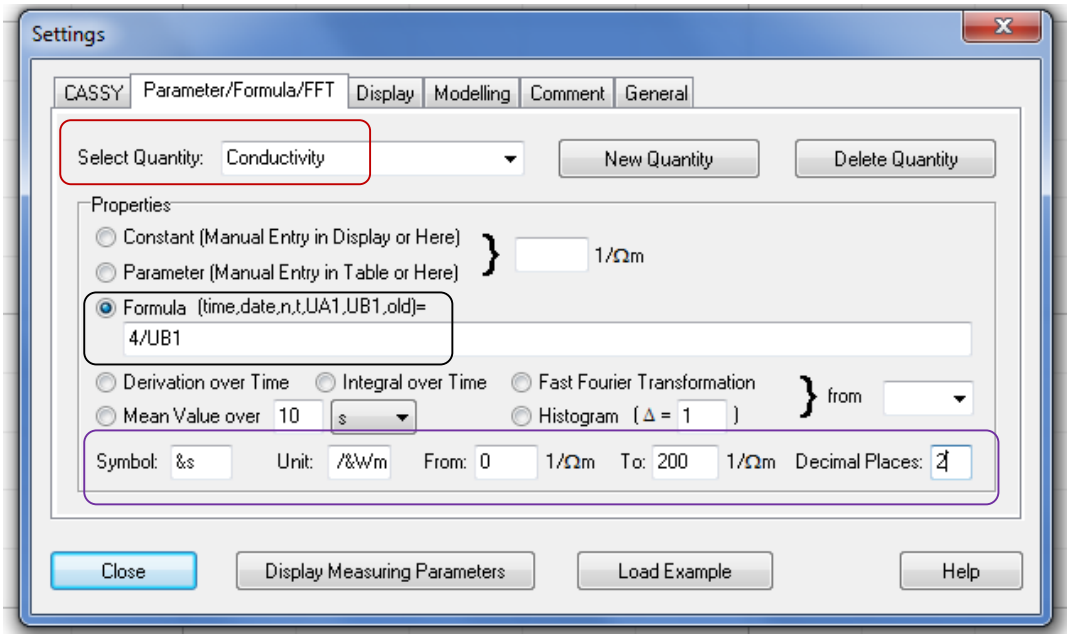
انجام آزمایش

1. دکمه HEATER را از صفحه مخ صوص اثر هال را کلیک کنید و ثبت مقادیر سنجش شده را با دکمه F9 یا  را آغاز کنید.

2. در صفحه "Voltage UA1"، چک کنید که آیا ولتاژ UA1 که با دمای کریستال متناسب است، افزایش داشته است یا خیر.
3. به محض اینکه ولتاژ UB1 به زیر 1 V رسید، بروی پنجره "Volatage UB1" راست کلیک کنید و تغییرات ولتاژ را بین "1 V. . . . 0" تنظیم نمایید.
4. به محض اینکه ولتاژ UB1 به زیر 0.3 V رسید، مقدار ولتاژ را به "0.3 V . . . 0" تغییر دهید.
5. زمانی که چراغ LED روی صفحه مخصوص اثر هال خاموش شد، اندازه گیری را با استفاده از  متوقف کنید.



6.



.7

8. با کلیک بر روی بخش "Display" تنظیمات زیر را چک کنید:

X-axis T 1/x

Y-axis σ log y

9. بر روی پنجره نمودار راست کلیک کنید و گزینه "$Fit\ function" \rightarrow "Best-fit\ straight\ line$" راتنظیم نمایید.

10. شیب نمودار را بدست آورید.

11. شیب نمودار تعیین کننده چیست؟