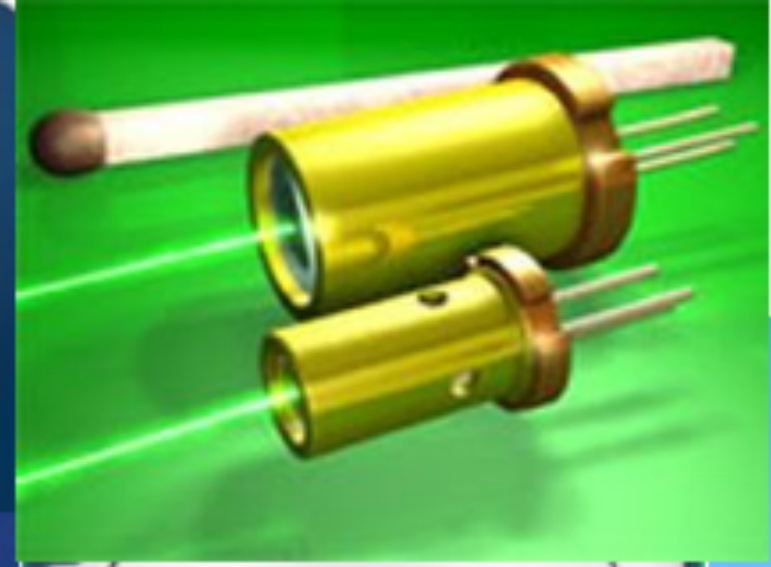
به نام خدا

فیزیک الکترونیک
مقدمه

ارائه دهنده: حسین کرمی طاهری

الکترونیک در قرن ۲۱



- ترانزیستورها
- سلول‌های حافظه
- آشکارسازها و ...

سرفصل مطالب:

- آشنایی با ادوات الکترونیکی و ساختار کریستالی نیمه هادی ها
- تابع چگالی حالات، توزیع فرمی و چگالی بار در نیمه هادی ها
- مکانیزم های انتقال بار و معادلات پایه در نیمه هادی ها
- الکتروستاتیک پیوندهای pn
- مشخصه جریان-ولتاژ پیوندهای pn
- انواع Heterojunction و دیاگرام باند در حالت تعادل
- الکتروستاتیک و مشخصه جریان-ولتاژ ترانزیستورهای دو قطبی

روش: نیمه هادی‌ها و افزاره‌ها آری، مدار خیر

- در این درس مدارهای الکترونیکی مورد بررسی قرار نمی گیرند.
- تاکید بر فهم مفاهیم و معادلات کلیدی حاکم بر نیمه هادی‌ها و ادوات مبتنی بر آن‌هاست.
- آماده سازی جهت انجام برخی محاسبات ساده و کلیدی در رابطه با ادوات الکترونیکی پایه
- تاکید بر یادگیری حین تدریس است.
- پس از گذراندن موفقیت آمیز این درس قادر خواهید بود تا مباحث و دروس مربوط به ادوات الکترونیکی مدرن و نانوالکترونیک را دنبال کنید.

مراجع اصلی

- R.F. Pierret, *Advanced Semiconductor Fundamentals,* 2nd ed., Pearson Education, 2003.
- S.M. Sze and K.K. Ng, *Physics of Semiconductor Devices*, 3rd ed., Wiley-Interscience, 2006.
- R.F. Pierret, *Semiconductor Device Fundamentals,* 2nd ed., Addison-Wesley, 1996.
- B. Streetman and S. Banerjee, *Solid State Electronic Devices*, 7th ed., Pearson Education Limited, 2016.

ارزشیابی

- میان‌ترم (۸ نمره از سه فصل ابتدایی): ۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۱
- پایان‌ترم (۱۰ نمره از چهار فصل پایانی): در زمان مشخص شده توسط آموزش *
- تحویل **مناسب** تمرین ها (۲ نمره): در طول ترم
- حضور **فعال و موثر** در تمامی جلسات کلاس (اضافه بر بیست)

* غیبت در امتحان پایان‌ترم منجر به **عدم امکان ثبت نمره** برای دانشجو خواهد شد.

آشنایی با ادوات الکترونیکی

- تفاوت بین مدارهای الکتریکی و مدارهای الکترونیکی چییست؟
- چه وسایلی را الکتریکی و چه وسایلی را الکترونیکی می نامیم؟
- آیا می توان ادوات الکترونیکی را به صورت ادوات مبتنی بر نیمه هادی تعریف کرد؟
- آیا می توان وسایل الکترونیکی را وسایلی در نظر گرفت که داخل آنها دیود و ترانزیستور وجود دارد؟

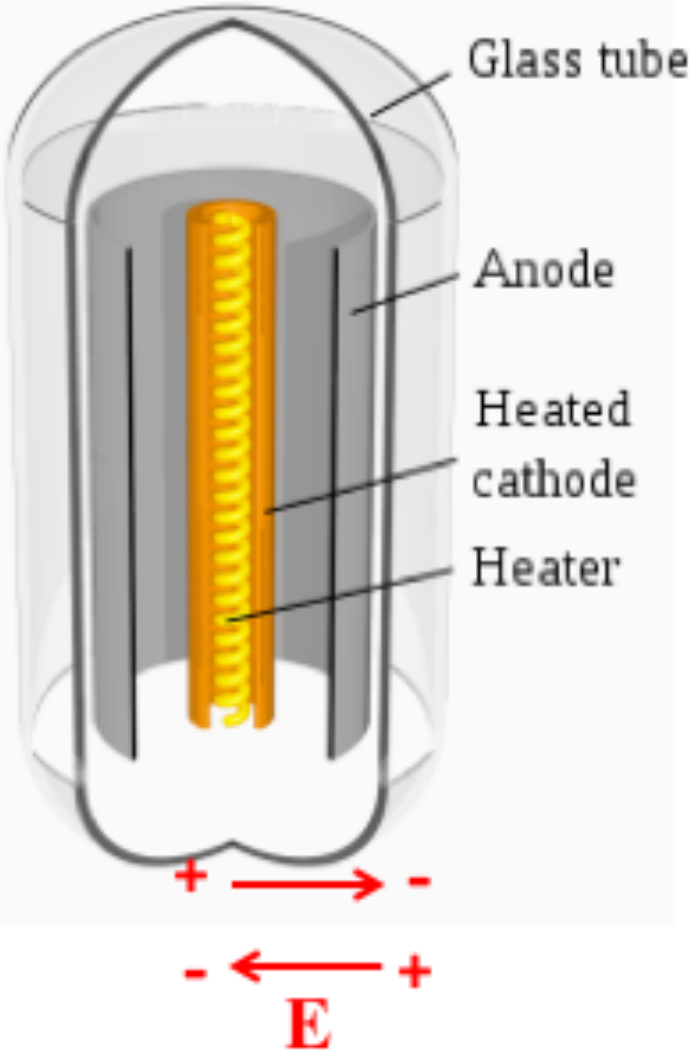
وسایل الکترونیکی

- وسایلی که داخل آن‌ها یکسوکنندگی و تقویت کنندگی (منبع جریان وابسته) شکل می‌گیرد (کامپیوتر- موبایل و ...).

Vacuum Tubes

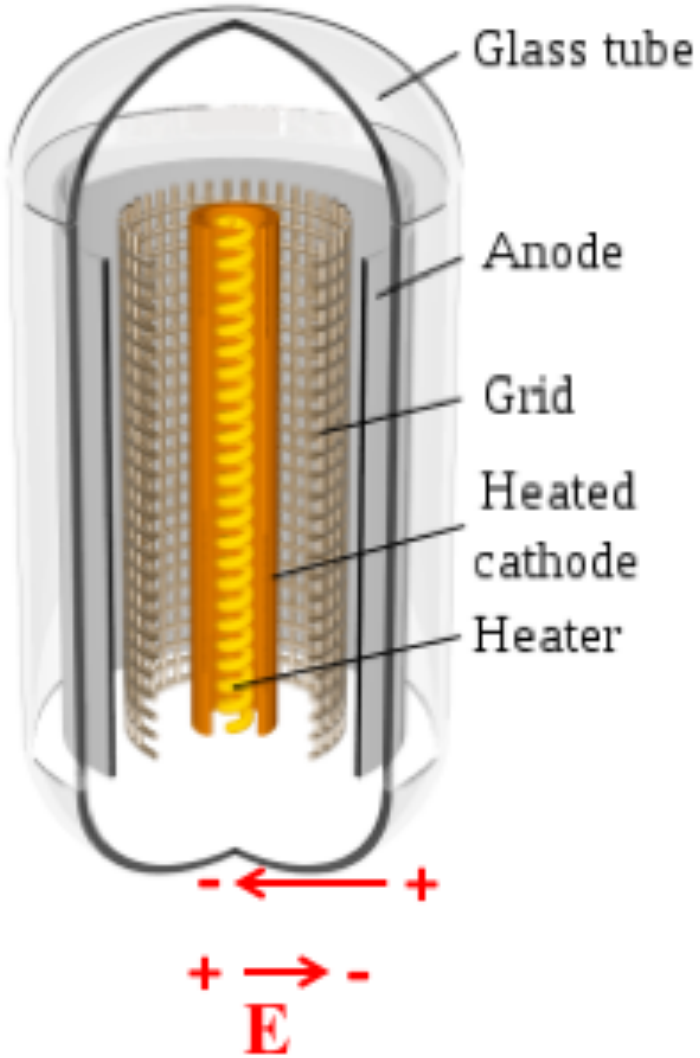
- پیدایش الکترونیک: لامپ‌های خلا
(توسط John Ambrose انگلیسی در سال ۱۹۰۴)
- لامپ های خلا مبتنی بر نیمه هادی نبودند.
- لامپ های خلا بر اساس پدیده گرما یونی (thermionic) عمل می‌کردند.
- پدیده گرما یونی: الکترون از کاتد گرم به جدا شده و به خلا ساطع می‌گردد.

لامپ خلا به عنوان یکسو کننده (Diode)



- وظیفه هیتر گرم کردن کاتد برای شکل‌گیری پدیده گرمایونی در کاتد است.
- پلاریته مثبت به کاتد، پلاریته منفی به آند:
  - ⇐ میدان الکتریکی از سمت کاتد به سمت آند
  - ⇐ برگشت الکترون های ساطع شده به سطح کاتد.
- پلاریته منفی به کاتد، پلاریته مثبت به آند:
  - ⇐ میدان الکتریکی از سمت آند به سمت کاتد
  - ⇐ انتقال الکترون های ساطع شده به سطح آند و شکل گیری جریان بین آند و کاتد.

لامپ خلا به عنوان منبع جریان وابسته (Triode)



- یک صفحه توری شکل، الکترود گرید، بین کاتد و آند اضافه شد (توسط Lee De Forest در سال ۱۹۰۷).
- پلاریته منفی به کاتد، پلاریته مثبت به آند:
  - ⇐ میدان الکتریکی از سمت آند به سمت کاتد
  - ⇐ انتقال الکترون های ساطع شده به سطح آند و شکل گیری جریان بین آند و کاتد.
- اختلاف پتانسیل بین گرید و کاتد:
  - ⇐ تغییر میدان الکتریکی برآیند بین گرید و کاتد
  - ⇐ تغییر جریان بین کاتد و آند

پیدایش ادوات مبتنی بر نیمه هادی‌ها

- معایب لامپ های خلا
  حجم زیاد، وزن زیاد، هزینه زیاد، طول عمر کم

- محاسن ادوات مبتنی بر نیمه هادی‌ها
  حجم کمتر، وزن کمتر، هزینه کمتر، طول عمر بیشتر، قابلیت کوچک‌سازی بیشتر

- قابلیت کوچک‌سازی بیشتر ⇐ متجمع سازی ⇐ وجود میلیاردها ترانزیستور بر روی تراشه‌های متداول امروزی

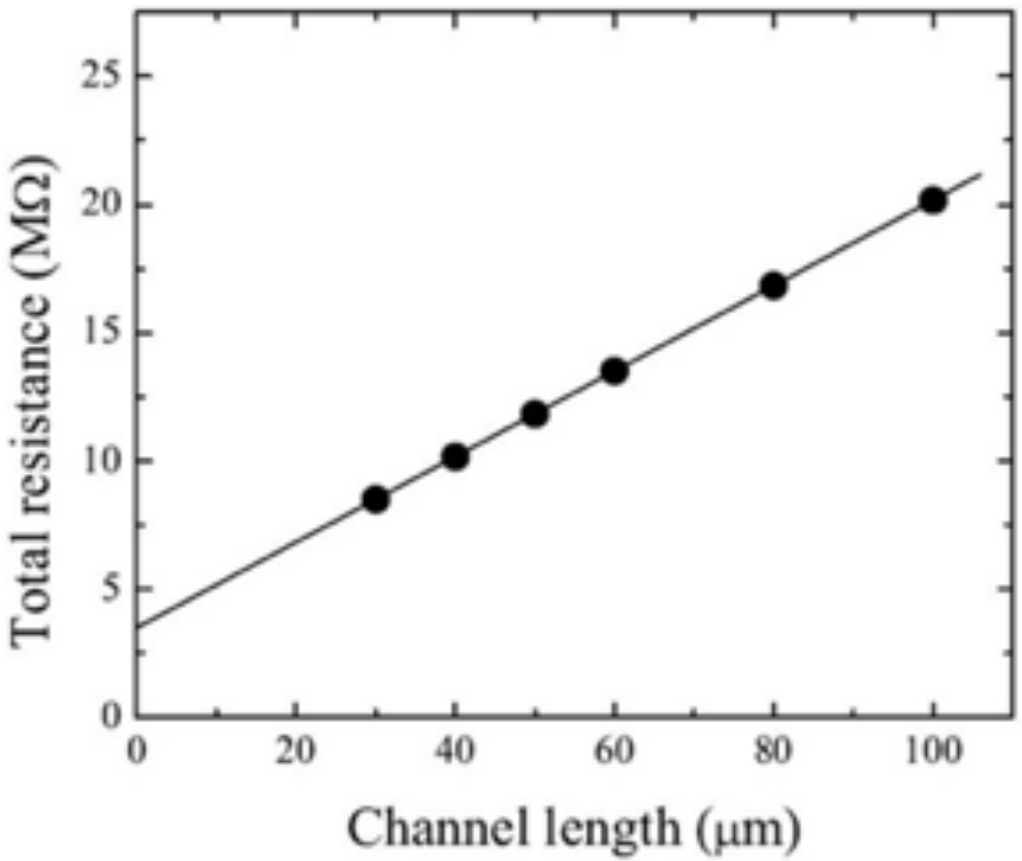
اهمیت مجتمع سازی

- ساخت یک تراشه با ده میلیارد ترانزیستور توسط لامپ‌های خلا یا ترانزیستورهای مجزا
  - حجم=$1cm^3$*10^{10}=10^4m^3=مکعبی به ضلع حدودا ۲۱ متر
  - وزن=1g*10^{10}=10^7Kg=حدودا ۳۸۰۰۰ برابر رکورد وزنه برداری جهان
  - توان تلفاتی=1mW*10^{10} =10MW=معادل یک نیروگاه خورشیدی متعارف
  - قیمت=cent*10^{10} =$10^8$$= !

چرا فیزیک الکترونیک؟

- پیشرفت تکنولوژی ساخت
- ترانزیستورهای امروزی بر روی تراشه های ساخته شده دارای Feature Size کمتر از ده نانومتر می‌باشند.
- چه نیازی به دانستن فیزیک حاکم بر ادوات نیمه هادی است؟
- پیشرفت تکنولوژی ساخت ⇐ کوچک‌سازی بیشتر ⇐ مجتمع سازی بهتر
- آیا کافی است تنها به توسعه تکنولوژی ساخت پرداخت؟

نیاز به فیزیک الکترونیک



- مشخصه ادوات با کوچک‌سازی تغییر می‌کند
- حتی $R = \frac{\rho L}{A}$ به صورت بنیادین تغییر می‌کند
- نیاز به پیشبینی و تحلیل نتایج و همچنین ارائه راهکارهای برای در اختیار گرفتن مشخصات مورد نیاز
- نیاز به طراحی مواد جدید ⇐ نانوالکترونیک
- نقطه شروع: فیزیک الکترونیک