

科目	半導体工学 (Semiconductor Engineering)		
担当教員	西 敬生 准教授		
対象学年等	電子工学科・4年・通年・必修・2単位 (学修単位III)		
学習・教育目標	A4-D2(100%)	JABEE基準1(1)	(d)1,(d)2-a,(d)2-d,(g)
授業の概要と方針	現代のエレクトロニクスは半導体によって支えられている。この半導体を、エネルギーバンドや電子輸送現象などの固体物理の基礎から学ぶとともに、ダイオードやトランジスタに代表される半導体デバイスとして、応用面からも深く理解できるよう学んでいく。授業で出てくる数値のほとんどは実生活では使わない桁のものばかりであるため、演習などで比較検討することで慣れながら理解することを目指す。		
	到達目標	達成度	到達目標毎の評価方法と基準
1	【A4-D2】半導体の物質名(SiやGaAsなど)を3つ以上言い、結晶構造の名前や、何に使われているかを知っている。		半導体の物質名や、それぞれの違いを問うことをレポートおよび前期中間試験の中で行い評価する。
2	【A4-D2】金属、半導体、絶縁体を抵抗率やバンド構造の違いで説明できる。		グラフや図を使って3つの違いを説明する問題をレポートおよび前期中間試験の中で行い評価する。
3	【A4-D2】半導体中のキャリア密度の式の中の量記号が何かを言い、(授業の出席者数)=(出席率)×(席の数)の例が、キャリア密度、状態密度、占有確率のどれと対応するかわかる。		キャリア密度の式の意味や実際例から値を計算させる問題をレポートおよび前期定期試験で出題することで評価する。
4	【A4-D2】物質中のオームの法則がわかり、抵抗率と移動度やキャリア密度の関係がわかる。		物質中のオームの法則を説明させる問題や、抵抗率の式の意味を説明させたり、実際例から値を計算させたりする問題をレポートおよび前期定期試験で出題して評価する。
5	【A4-D2】電子や正孔が物質の中を拡散することによって流れる拡散電流をイメージすることができる。		キャリアの拡散について説明させる問題や、拡散方程式の各項の意味を答えさせる問題を前期定期試験で出題して評価する。
6	【A4-D2】pn接合の整流性をエネルギーバンド図で説明できる。		pn接合の整流性をエネルギーバンド図で説明させる問題を後期中間試験で出題し、評価する。
7	【A4-D2】pn接合の空乏層幅や静電容量を、不純物密度などの諸条件と数式から見積もることができる。		pn接合の接合状態によって空乏層幅や容量を導出させる問題をレポートおよび後期中間試験で出題し、評価する。
8	【A4-D2】金属-半導体および金属-酸化物-半導体構造の電気特性をエネルギーバンド図を用いて簡単に説明できる。		金属-半導体や金属-酸化物-半導体構造の電気特性についてレポートおよび後期定期試験で説明させ、評価する。
9	【A4-D2】MOSトランジスタやバイポーラトランジスタの動作原理を構造図やエネルギーバンド図を用いて簡単に説明できる。		MOSトランジスタやバイポーラトランジスタの動作をバンド図や構造図から、定性的に説明させる問題を後期定期試験で出題し評価する。
10			
総合評価	成績は、試験90%、レポート10%として評価する。100点満点中60点以上を合格とする。4回の試験の平均を試験点とする。		
テキスト	「半導体デバイス」：松波弘之、吉本昌広（共立出版）		
参考書	半導体デバイス-基礎理論とプロセス技術 第2版」：S.M. ジー（産業図書） 「応用物性」：佐藤勝昭（オーム社） 「半導体工学」：高橋清（森北出版） 「半導体素子」：石田哲朗、清水東（コロナ社）		
関連科目	電子デバイス(3年)、光エレクトロニクス(5年)、電子応用(5年)		
履修上の注意事項	毎回の授業に電卓を持参すること。		

授業計画 1 (半導体工学)

週	テーマ	内容(目標, 準備など)
1	半導体の電子構造: 半導体材料, 結晶構造, 不完全性	金属や半導体, セラミックスなど日常で使われる材料の分類, 単結晶や多結晶, 非晶質などの固体の分類, ダイヤモンド構造, 閃亜鉛鉱構造という結晶構造による分類について説明や, 結晶の不完全性について説明する。予習として周期律表をよく見ておくこと。
2	半導体の電子構造: エネルギー帯構造, エネルギー準位	一原子の中, そして固体の中の電子がとるエネルギー準位について説明する。このエネルギー準位から形成される帯構造, また電子の存在が許されない禁制帯について発展させる。
3	半導体の電子構造: 結晶中の電子	前回の帯構造を使って金属, 半導体, 絶縁体を描写し違いを説明する。また“遷移”という言葉の意味を理解するとともに, 禁制帯幅が物質固有のものであること, 禁制帯の遷移により正孔が生じることなどを説明する。
4	半導体の電子構造: 真性半導体と外因性半導体	n形半導体とp形半導体, ドナーとアクセプタ, 多数キャリアと少数キャリアについて説明する。固体中の電子と正孔の違いをより理解するため, 有効質量についても説明する。周期律表をよく見ておくこと。また水素原子の軌道半径の導出について復習しておくこと。
5	半導体の電子構造: 状態密度と占有確率	多数の荷電粒子の挙動を扱うため, 一つの粒子の運動方程式ではなく, 統計力学を用いて粒子群を表現する。粒子の個数に対応する「キャリア密度」を表現するための「状態密度」と「占有確率」を説明する。
6	半導体の電子構造: キャリア密度の導出と真性キャリア密度	あるエネルギーの範囲内にあるキャリアの密度を導出するには, 前回導いた式をその範囲内で積分して求める。その積分の式の展開によって導電帯(価電子帯)中の電子(正孔)密度の式を導出する。これにより, 真性半導体のキャリア密度である真性キャリア密度が定義され, pn積へと発展する。
7	半導体の電子構造: フェルミ準位	半導体デバイスの動作を説明するのによく用いられる「フェルミ準位」について説明する。水がどれだけ溜まっているかを表すのに水面の高さを測るのに似て, フェルミ準位も電子がどのエネルギーの高さまでいるかを表す量である。
8	中間試験	半導体の特徴を, 電気的な性質や帯構造などの観点から説明させる。授業中の重要語句について説明させたり, キャリア密度の導出などを行う。
9	試験解答	試験解説および学生による学習目標達成度評価を行う。
10	半導体における電気伝導: キャリアの熱運動, ドリフト電流	熱によって原子が揺れ動くことを格子振動のことや外部から印加された電界で電子が動くことによって生じるドリフト電流について説明する。キャリアの流れで考えたときのオームの法則も導出する。抵抗率について復習しておくこと。
11	半導体における電気伝導: ホール効果	ドリフト電流中のキャリアは電流と直交方向に磁界を印加すると電流, 磁界いずれとも直交する方向にローレンツ力が働き, 起電力が生じる。この現象をホール効果と呼び, この効果を測定して何がわかるかを説明する。
12	半導体における電気伝導: キャリア密度の温度特性	金属と半導体の違いとしてよく表現される抵抗率の温度依存性について, 半導体のキャリア密度の温度依存性を詳細に説明して理解してもらおう。金属の抵抗率は温度が上がるとどうなるかを調べてくること。
13	半導体における電気伝導: 拡散電流	粒子が拡散する様子を数式で表すとどうなるかを説明し, それを電子や正孔に適用した場合に電流がどのように記述できるかを説明する。またアインシュタインの関係式についても説明する。
14	半導体における電気伝導: 連続の式と拡散方程式	半導体中で起こるキャリアの生成と消滅について論じ, そこからキャリアの拡散による流れを記述した拡散方程式へとつなげ, 38ページの式(2.37)の各項について説明する。半導体の中で重要な役割を演じる「トラップ」についても論じる。
15	半導体における電気伝導: 半導体電気伝導のまとめ	これまで出てきた式や現象を使って問題を解き, 理解を定着させる。
16	試験解答	試験解答の解説および学生による学習目標達成度評価を行う。
17	pn接合: 整流性の原理, 拡散電位, 少数キャリアの注入	ダイオードとして用いられる整流作用がなぜ起こるかを帯構造から定性的に説明し, 電流電圧特性との関連を述べる。
18	pn接合: 拡散方程式による電流密度の導出	理想的なpn接合は電圧印加時に拡散によって粒子の流れが起こる。2章で説明された拡散方程式を用いてpn接合中の電流を導出する。
19	pn接合: 理想特性からのずれ, 再結合電流	前回求めたpn接合の理想特性に対して, 実際のpn接合の特性がどれだけずれているかを確認し, そのずれの理由を説明する。キャリアの生成と再結合について2章の33-40ページの関連部を復習しておくこと。
20	pn接合: 空乏層の静電容量と幅	pn接合のp形-空乏層-n形という構造はコンデンサと考えられ, 静電容量を有している。この静電容量と空乏層幅を導出する。階段接合や傾斜接合といった接合形態でどう変わるかを確認する。
21	pn接合: 降伏現象	pn接合の逆バイアス時は理想的には電流はほとんど流れないはずであるが, ある電圧を境に急に電流が流れ始める。この現象について説明する。
22	pn接合: 交流特性, 少数キャリア蓄積効果	pn接合に正弦波やパルス波を印加した場合, 順バイアス時に注入され, 空乏層近傍に存在する過剰少数キャリアが, どのような挙動を示すか, 電流電圧特性がどう影響を受けるかについて説明する。
23	中間試験	pn接合をエネルギーバンド図で説明させたり, 拡散電位や空乏層幅などの導出を行う。
24	試験解説, 金属-半導体界面の整流性, オーム性とトンネル効果	中間試験解答の解説および金属-半導体界面の整流性, オーム性とトンネル効果について説明する。半導体と金属の接触の状態や, その組合せによって接触部の抵抗が大きく異なり, 整流性を示しもある。それぞれの場合についてエネルギーバンド図で説明する。
25	絶縁物-半導体界面, MOS構造の特性	MOSトランジスタの基本であるMOS構造について説明し, 蓄積, 空乏, 反転状態のエネルギーバンド図の違いを描けるようにする。またそのときの静電容量の変化や周波数特性についても解説する。
26	MOSトランジスタ: 構造と原理, 電流-電圧特性	MOSトランジスタの構造と原理について説明する。MOSトランジスタの電流-電圧特性についてnチャネルやpチャネル, ディプレッションやエンハンスメントといった違いでどのように変わるかなどについて説明する。
27	MOSトランジスタ: 短チャネル効果とスケールング則	MOSトランジスタの短チャネル効果とスケールング則について説明する。
28	バイポーラトランジスタ: 基本構造と動作特性, 直流特性	バイポーラトランジスタの基本特性や構造(特にIC上での)を説明し, エネルギーバンド図で表した場合を説明する。
29	バイポーラトランジスタ: 到達率, 注入率	バイポーラトランジスタの到達率や注入率について説明する。
30	バイポーラトランジスタ: 到達率, 注入率	前回の内容について, 引き続き解説を行う。
備考	前期, 後期ともに中間試験および定期試験を実施する。いずれの試験においても電卓を持参すること。必要ない場合に限り, 連絡する。	