

无机材料物理性能考试复习题（含答案）

一、名词解释（选做 5 个，每个 3 分，共 15 分）

1. K_{IC} : 平面应变断裂韧度，表示材料在平面应变条件下抵抗裂纹失稳扩展的能力。
2. 偶极子（电偶极子）：正负电荷的平均中心不相重合的带电系统。
3. 电偶极矩：偶极子的电荷量与位移矢量的乘积， $\mu = ql$ 。（P288）
4. 格波：原子热振动的一种描述。从整体上看，处于格点上的原子的热振动可描述成类似于机械波传播的结果，这种波称为格波。格波的一个特点是，其传播介质并非连续介质，而是由原子、离子等形成的晶格，即晶格的振动模。晶格具有周期性，因而，晶格的振动模具有波的形式。格波和一般连续介质波有共同的波的特性，但也有它不同的特点。
5. 光频支：格波中频率很高的振动波，质点间的相位差很大，邻近的质点运动几乎相反时，频率往往在红外光区，称为“光频支振动”。（P109）
6. 声频支：如果振动着的质点中包含频率很低的格波，质点之间的相位差不大，则格波类似于弹性体中的应变波，称为“声频支振动”。（P109）
7. 色散：材料的折射率随入射光频率的减小（或波长的增加）而减小的性质，称为折射率的色散。
8. 光的散射：物质中存在的不均匀团块使进入物质的光偏离入射方向而向四面八方散开，这种现象称为光的散射，向四面八方散开的光，就是散射光。与光的吸收一样，光的散射也会使通过物质的光的强度减弱。
9. 双折射：光进入非均匀介质时，一般要分为振动方向相互垂直、传播速度不等的两个波，它们分别构成两条折射光线，这个现象就称为双折射。（P172）
10. 本征半导体（intrinsic semiconductor）：完全不含杂质且无晶格缺陷的、导电能力主要由材料的本征激发决定的纯净半导体称为本征半导体。
11. P/N 型半导体：在半导体中掺入施主杂质，就得到 N 型半导体；在半导体中掺入受主杂质，就得到 P 型半导体。
12. 超导体：超导材料（superconductor），又称为超导体，指可以在特定温度以下，呈现电阻为零的导体。零电阻和抗磁性是超导体的两个重要特性，使超导体电阻为零的温度，叫超导临界温度。
13. PTC：即正温度系数效应。价控型 $BaTiO_3$ 半导体在居里点(正方相 \leftrightarrow 立方相相变点)附近，电阻率随温度上升而发生突变，增大了 3—4 个数量级的现象，机理是几何半导体陶瓷晶界

上具有表面能级，此表面能级可捕获载流子，从而在两边晶粒内产生一层电子损耗层，形成肖特基势垒，该势垒与介电常数有关，当温度高于居里点，介电常数剧减，势垒增加，电阻率增加。

14.压电效应：不具有对称中心的晶体在沿一定方向上受到外力的作用而变形时，其内部会产生极化现象，同时在它的两个相对表面上出现正负相反的电荷。当外力去掉后，它又会恢复到不带电的状态，这种现象称为正压电效应。当作用力的方向改变时，电荷的极性也随之改变。相反，当对不具有对称中心晶体的极化方向上施加电场，晶体也会发生变形，电场去掉后，晶体的变形随之消失，这种现象称为逆压电效应，或称为电致伸缩现象。

15.铁电体：具有自发极化且在外电场作用下具有电滞回线的晶体。

16.热击穿：热击穿为固体电介质击穿的一种形式。击穿电压随温度和电压作用时间的延长而迅速下降，这时的击穿过程与电介质中的热过程有关，称为热击穿。热击穿的本质是处于电场中的介质，由于其中的介质损耗而产生热量，就是电势能转换为热量，当外加电压足够高时，就可能从散热与发热的热平衡状态转入不平衡状态，若发出的热量比散去的多，介质温度将愈来愈高，直至出现永久性损坏，这就是热击穿。

17.双碱效应：指当玻璃中碱金属离子总浓度较大时(占玻璃组成 25-30%)，碱金属离子总浓度相同的情况下，含两种碱金属离子比含一种碱金属离子的玻璃电导率要小。

18.压碱效应：指含碱玻璃中加入二价金属氧化物，特别是重金属氧化物，使玻璃的电导率降低，相应的阳离子半径越大，这种效应越强。

19.漏导电流：由介质中自由的或联系弱的带电质点在电场作用下运动造成的。 (P263)

20.磁畴：物体内部存在着自发磁化的小区域，称为磁畴。

21.移峰效应：全称铁电陶瓷移峰效应(ferroelectric ceramic peak shifting effect)。添加物与主晶相形成固溶体使铁电陶瓷的特性在居里温度处出现的峰值发生移动的现象，称为移峰效应。该添加物称为移峰剂。

二、填空题(选做 15 个空，每个 1 分，共 15 分)

1.固体材料的热膨胀本质是点阵结构中质点间平均距离随温度升高而增大。

2. 电子电导具有霍尔效应，离子电导具有电解效应，从而可以通过这两种效应检查材料中载流子的类型。

3.电导率的一般表达式为
$$\sigma = \sum \sigma_i = \sum_i n_i q_i \mu_i$$
，其各参数 n_i 、 q_i 和 μ_i 的含义分别是 载流子的浓度、载流子的电荷量、载流子的迁移率。

4. 离子晶体中的电导主要为离子电导。可以分为两类：固有离子电导（本征电导）和杂质

电导。在高温下本征电导特别显著，在低温下杂质电导最为显著。

5. 导电材料中载流子是离子、电子和空位。

6. 复介电常数由实部和虚部这两部分组成，实部与通常应用的介电常数一致，虚部表示了电介质中能量损耗的大小。

7. 克劳修斯-莫索蒂方程：
$$\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2} = \frac{n\alpha}{3\epsilon_0}$$
，克劳修斯—莫索蒂方程建立了宏观量介电常

数与微观量极化率之间的关系。（P292）

8. 极化的本质是：介质内质点（原子、分子、离子）正负电荷中心的分离，从而转变为偶极子。（P288）

9. 格波间相互作用力愈强，也就是声子间碰撞几率愈大，相应的平均自由程愈小，热导率也就愈低。

10. 电介质材料中的压电性、铁电性与热释电性是由于相应压电体、铁电体和热释电体都是不具有对称中心的晶体。

11. 考虑散热的影响，材料允许承受的最大温度差可用第二热应力因子表示。

12. 对于中心穿透裂纹的大而薄的板，其几何形状因子 $Y = \sqrt{\pi}$ 。

13. 设某一玻璃的光反射损失为 m ，如果连续透过 x 块平板玻璃，则光强为 I_0 的光透过后应变为： $I_0 \cdot (1-m)^{2x}$ 。

14. 广义虎克定律适用于各向异性的非均匀材料。

15. 当温度不太高时，固体材料中的热导形式主要是声子热导。

16. 按照格里菲斯微裂纹理论，材料的断裂强度不是取决于裂纹的数量，而是决定于裂纹的大小，即是由最危险的裂纹尺寸或临界裂纹尺寸决定材料的断裂强度。

17. 复合体中热膨胀滞后现象产生的原因是由于不同相间或晶粒的不同方向上热膨胀系数差别很大，产生很大的内应力，使坯体产生微裂纹。

18. 自发磁化的本质是电子间的静电交换相互作用。

19. 原子磁矩的来源是电子的轨道磁矩、自旋磁矩和原子核的磁矩。而物质的磁性主要由电子的自旋磁矩引起。

19. 超导体的 3 个临界条件分别是：临界转变温度 T_c 、临界磁场强度 H_c 、临界电流密度 J_c 。

20. 介质损耗的影响因素有：频率、温度、湿度。

21. PN 结的特性有：单向导电性、击穿特性、电容特性。

22. 磁性分为：抗磁性、顺磁性、铁磁性、反铁磁性。（P382）

三、简答题（选做 6 个，每个 5 分，共 30 分）

1.为什么金属的滑移性能要优于无机非金属材料？

答：主要从金属材料的滑移系要多于无机非金属材料方面来回答。此外，金属材料中的金属键不具有饱和性和方向性，有利于位错的运动；而无机非金属材料中多为离子键或共价键（一般为两者组成的混合键），共价键具有明显的方向性，并且同号离子相互排斥，只有个别滑移系统能满足位错运动的几何条件和静电作用。

2. 为什么在常温下大多数无机非金属材料不具备明显的塑性？

答：（1）、对于单晶体的陶瓷材料而言，原则上讲可以通过滑移和孪晶实现塑性形变，但是由于陶瓷晶体多为离子键或共价键，具有明显的方向性，同号离子相斥，只有个别滑移系统能满足位错运动的几何条件和静电作用，所以单晶陶瓷材料只有少数具有简单晶体结构的晶体，如 MgO 、 AgCl 在室温下具有塑性，而其它复杂晶体结构的材料在室温下不能进行塑性变形；

（2）、陶瓷材料一般呈多晶状态，而且还存在气孔、微裂纹、玻璃相等，位错不易向周围晶体传播，更易在晶界处塞积而产生应力集中，形成裂纹引起断裂，所以陶瓷材料很难进行塑性变形；

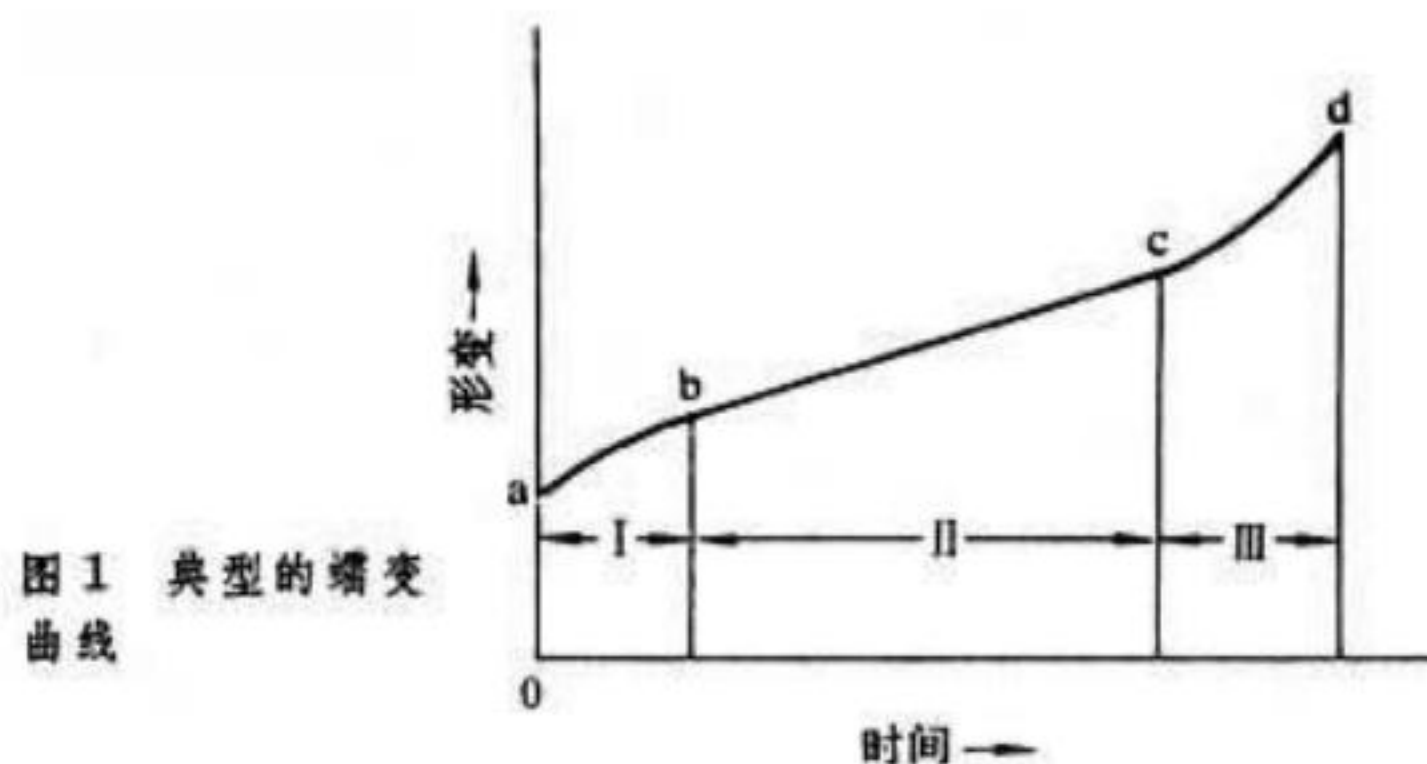
（3）、非晶态玻璃材料，由于不存在晶体中的滑移和孪生的变形机制，其永久变形是通过分子位置的热激活交换来进行的，属于粘性流动变形机制，塑性变形需要在一定的温度下进行，所以普通的无机玻璃在室温下没有塑性。

综上所述，在常温下大多数无机非金属材料不具备明显的塑性。

3.蠕变曲线的三个阶段？

答：室温拉伸试验时，长期保持屈服极限以下的应力，试件不会产生塑性变形，也就是说应力—应变关系不会因载荷作用时间的长短而发生变化。但是，在较高温度下，特别是当温度达到材料熔点的 $1/3$ 到 $1/2$ 时，即使是应力在屈服极限以下，试件也会产生塑性变形，时间愈长，变形量愈大，直至断裂。这种发生在高温下的塑性变形就称为蠕变(Creep)。因此，设计高温下使用的构件时，例如与高温燃气接触的燃气轮机叶片，就不能把强度极限等作为计算许用应力的依据，而要考虑材料的蠕变强度。

高温下试件的应变量和时间关系曲线如图 1 所示：



这个曲线也称为蠕变曲线。可看出，蠕变可以分为三个阶段：

第一阶段（减速蠕变阶段）：蠕变速率（ $\Delta\epsilon/\Delta t$ ）随时间而呈下降趋势。

第二阶段（恒速蠕变阶段）：蠕变速率不变，即（ $\Delta\epsilon/\Delta t$ ）=常数，这一段是直线。

第三阶段（加速蠕变阶段）：蠕变速率随时间而上升，随后试样断裂。

4. 何谓双碱效应？以 K_2O ， Li_2O 氧化物为例解释产生这种现象的原因。

答：双碱效应是指当玻璃中碱金属离子总浓度较大时(占玻璃组成 25—30%)，碱金属离子总浓度相同的情况下，含两种碱金属离子比含一种碱金属离子的玻璃电导率要小。当两种碱金属浓度比例适当时，电导率可以降到很低。

这种现象的解释如下： K_2O ， Li_2O 氧化物中， K^+ 和 Li^+ 占据的空间与其半径有关，因为（ $r_{K^+} > r_{Li^+}$ ），在外电场作用下，一价金属离子移动时， Li^+ 离子留下的空位比 K^+ 留下的空位小，这样 K^+ 只能通过本身的空位。 Li^+ 进入体积大的 K^+ 空位中，产生应力，不稳定，因而也是进入同种离子空位较为稳定。这样互相干扰的结果使电导率大大下降。此外由于大离子 K^+ 不能进入小空位，使通路堵塞，妨碍小离子的运动，迁移率也降低。

5. 何谓压碱效应？解释产生这种现象的原因。

答：压碱效应是指在含碱玻璃中加入二价金属氧化物，特别是重金属氧化物，使玻璃的电导率降低，相应的阳离子半径越大，这种效应越强。

压碱效应现象的解释：这是由于二价离子与玻璃中氧离子结合比较牢固，能嵌入玻璃网络结构，以致堵住了迁移通道，使碱金属离子移动困难，因而电导率降低。如用二价离子取代碱金属离子，也得到同样效果。

6. Griffith 微裂纹理论中的裂纹扩展条件？（P43）

答：物体内存储的弹性应变能的降低大于或等于由于开裂形成两个新表面所需的表面能。

7. 不同材料热传导的区别？

答：当固体材料两端存在温度差时，热量自动地从热端传向冷端的现象称为热传导（thermal conduction）。不同的材料在导热性能上有很大的差别。有些材料是极为优良的绝热材料，有些又会是热的良导体。

不同材料的导热机构不同。气体传递热能方式是依靠质点间的直接碰撞来传递热量。固体中的导热主要是由晶格振动的格波和自由电子的运动来实现的。金属有大量自由电子且质量轻，能迅速实现热量传递，因而主要靠自由电子传热，晶格振动是次要的， λ 金属较大，在 $2.3 \sim 417.6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ($\lambda < 0.22 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 的材料，称隔热材料)；非金属晶体，如一般离子晶体晶格中，自由电子是很少的，因此，晶格振动是它们的主要导热机构。

8. 热容的定义、两个有关晶体热容的经验定律和？（P111）

答：热容是物体温度升高 1K 所需要增加的能量，其本质为晶格点阵的简谐振动。是分子热运动的能量随温度而变化的一个物理量，是反映材料从环境吸收能量的能力。

元素热容定律—杜隆-珀替定律：恒压下元素的原子热容为 25 J/Kmol ；化合物热容定律—柯普定律：化合物分子热容等于构成此化合物的各元素原子热容之和。杜隆-珀替定律在高温时与实验结果很符合；但低温下，热容不是一个恒量，随 T 下降而下降，在接近绝对 0 度时按 T 的三次方趋于 0，低温下 c 下降的现象需用量子理论解释。

热容影响因素：键的强度，材料的弹性模量，熔点、气孔率、温度。

9. 晶态固体热容的量子理论中两个模型的假设条件及优缺点？（P114）

答：（1）爱因斯坦模型：假设条件：晶体中所有原子都以相同的频率振动，且各个振动相互独立；不足：低温与实验不符合，原因是忽略了各格波的频率差别，其假设过于简化；优点：模型简单，在高温时与经典公式一致。

（2）德拜模型：假设条件：把晶格近似为连续介质，晶格振动的频率在 $0 \sim \omega_{\max}$ 连续分布，低温下热容与温度三次方(T^3)成正比；不足：解释不了超导现象；优点：当 $T \rightarrow 0$ 时，和实际结果很符合；

10. 光吸收的本质及符合的规律？（P178）

答：本质：光作为一种能量流，在穿过介质时，引起介质的价电子跃迁，或使原子振动而消耗能量。此外，介质中的价电子吸收光子能量而激发，当尚未退激而发出光子时，在运动中与其它分子碰撞，电子的能量转变为分子的动能亦即热能，从而构成光能的衰减。

规律：光强度随厚度的变化符合指数衰减规律（朗伯特定律），即： $I = I_0 e^{-\alpha x}$ 。

11. 简述位移极化和松弛极化的特点。

答：位移式极化是一种弹性的、瞬时完成的极化，不消耗能量；松弛极化与热运动有关，完

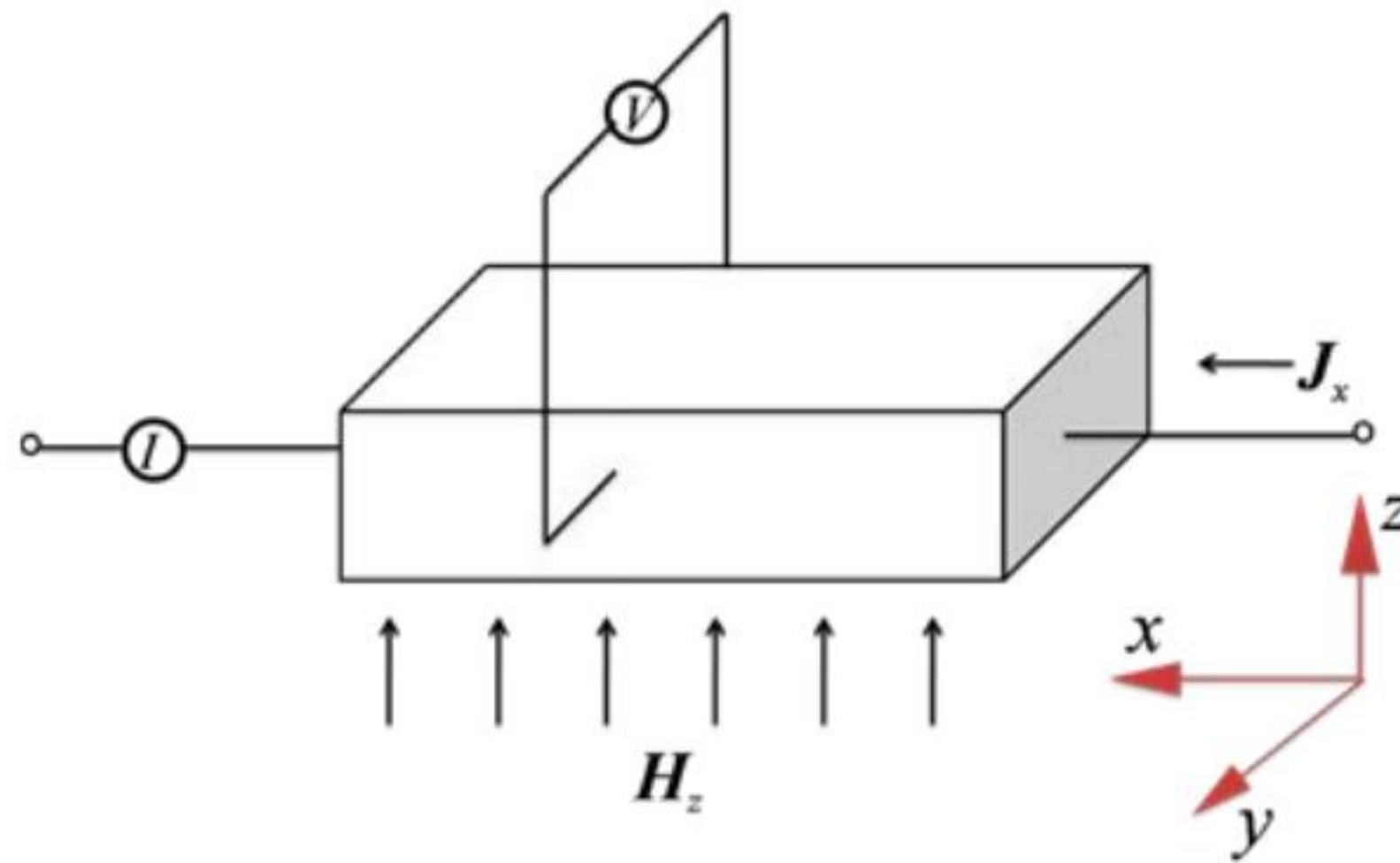
成这种极化需要一定的时间，并且是非弹性的，因而消耗一定的能量。

12. 有关介质损耗描述的方法有哪些？其本质是否一致？

答：损耗角正切、损耗因子、损耗角正切倒数、损耗功率、等效电导率、复介电常数的复项。多种方法对材料来说都涉及同一现象。即实际电介质的电流位相滞后理想电介质的电流位相。因此它们的本质是一致的。

13. 什么是霍尔效应，它有什么应用？

答：如下图，若在 X 方向通以电流，在 z 方向上加以磁场，则在 Y 方向电极两侧开始聚积异号电荷而产生相应的附加电场，此现象称为霍尔效应。



应用：利用霍尔效应可检验材料是否存在电子电导。

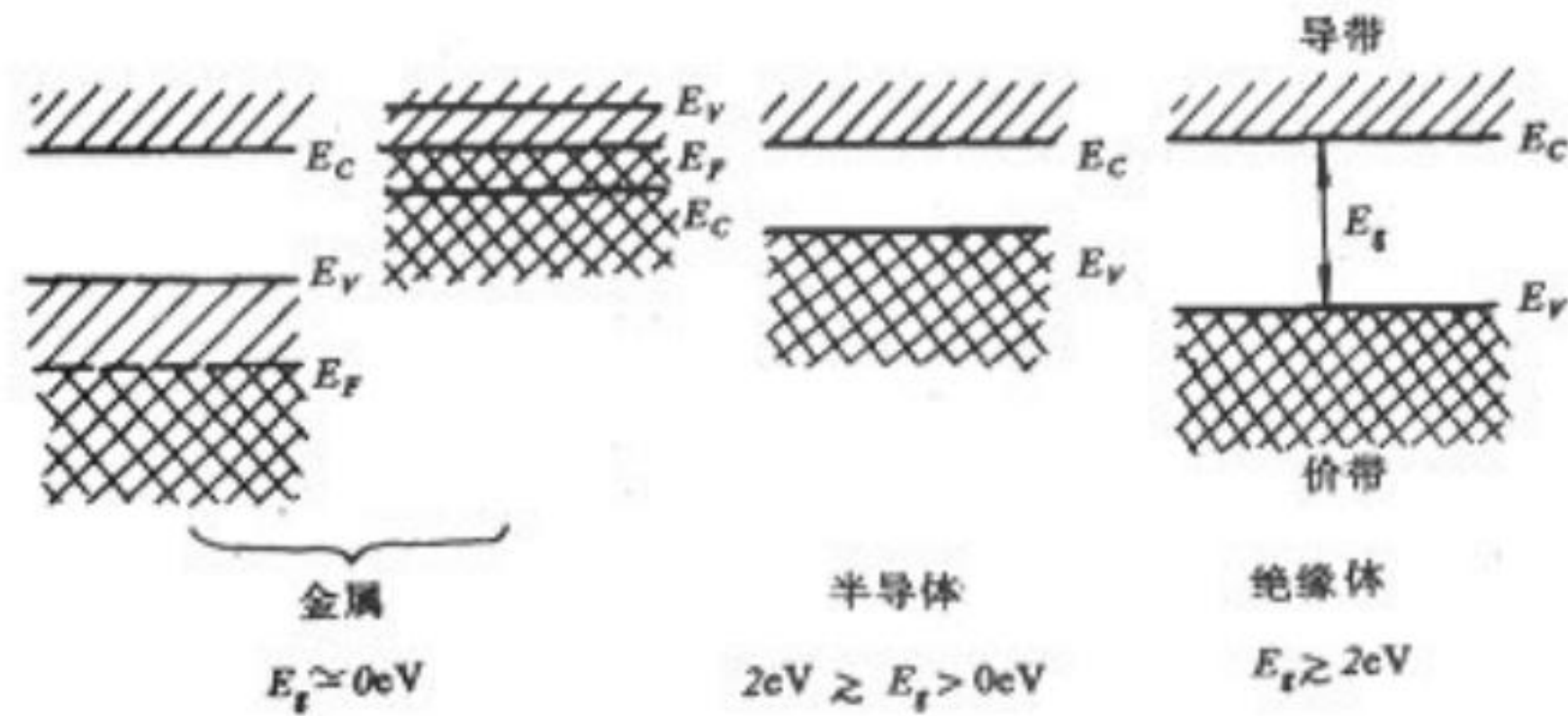
14. 铁磁性和铁电性的本质区别？

答：（1）铁电性由离子位移引起，铁磁性由原子取向引起；
 （2）铁电性在非对称的晶体中发生，铁磁性发生在次价电子的非平衡自旋中；
 （3）铁电体的居里点是由于晶体相变引起，铁磁性的居里点是原子的无规则振动破坏了原子间的“交换”作用，从而使自发磁化消失引起的。

四、论述题（选做 2 个，每个 10 分，共 20 分）

1. 用固体能带理论说明什么是导体、半导体、绝缘体，并予以图示。（P234）

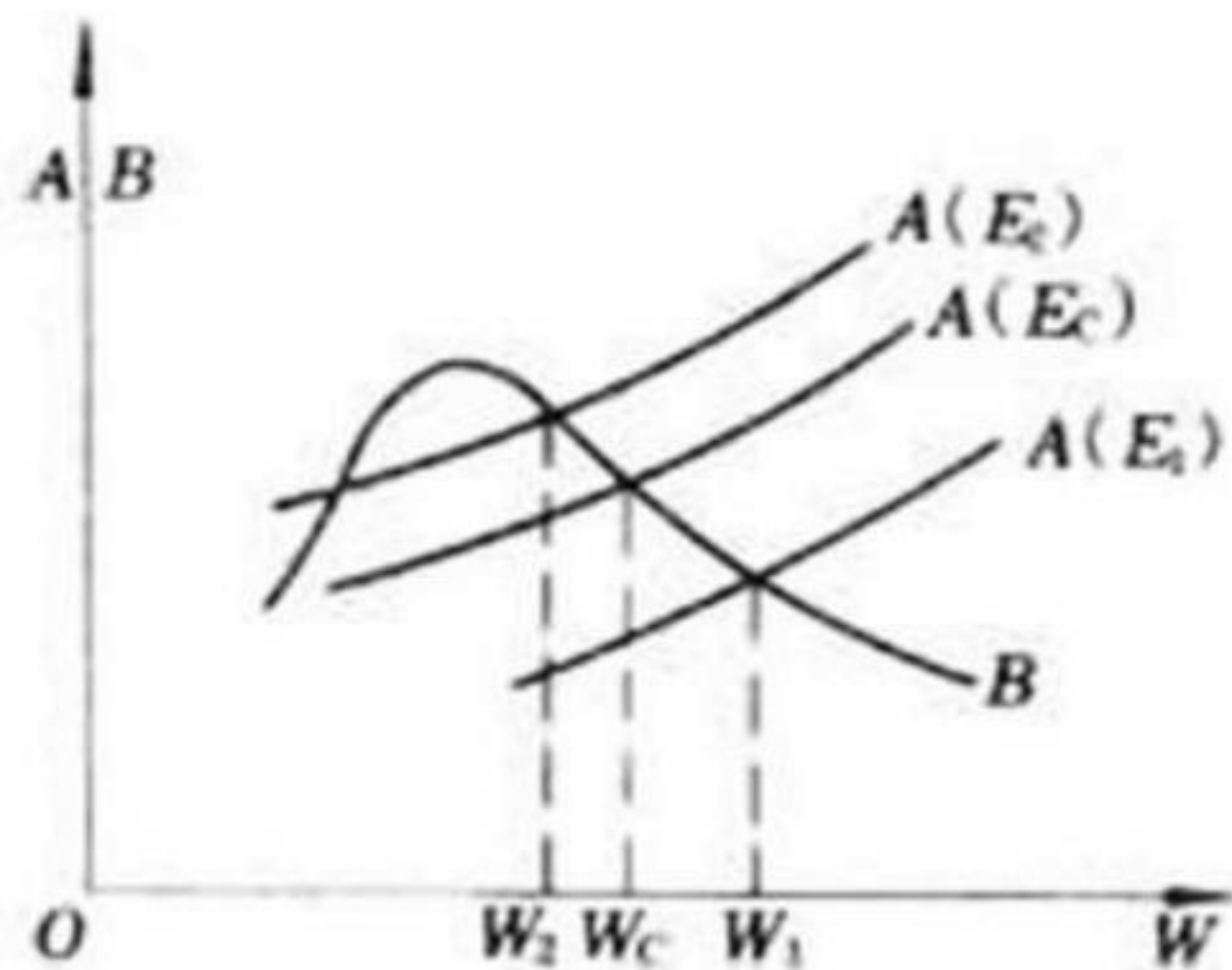
答：根据能带理论，晶体中并非所有电子，也并非所有的价电子都参与导电，只有导带中的电子或价带顶部的空穴才能参与导电。从下图可以看出，导体中导带和价带之间没有禁区，电子进入导带不需要能量，因而导电电子的浓度很大。在绝缘体中价带和导带隔着一个宽的禁带 E_g ，电子由价带到导带需要外界供给能量，使电子激发，实现电子由价带到导带的跃迁，因而通常导带中导电电子浓度很小。



半导体和绝缘体有相类似的能带结构，只是半导体的禁带较窄(E_g 小)，电子跃迁比较容易。

2. 结合图形描述电击穿的过程。

答：



如上图（晶格温度 T 为定值）所示：A:单位时间内这些电子取得的能量；B:单位时间内传导电子失去的能量；E:电场强度；W:电子本身能量。

1) 当外加电场 $E_2 > E_c$ 时

一部分传导电子的能量处于 $W_2 \sim W_c$ 之间，单位时间内这些电子取得的能量 A 始终大于失去的能量 B ，电子被加速，碰撞晶格时产生电离，使处于导带的电子不断增加，电流急剧上升，最终导致固体电介质击穿。

2)当外加电场 $E_1 < E_c$ 时，

偶尔会有能量大于 W_1 的电子出现，此时因 $A > B$ 而使晶格发生碰撞电离、产生新的传导电子；但因电子能量大于 W_1 的概率很低,所以传导电子不断增多的过程很难出现，固

体电介质不会击穿。

3.论述电击穿的两个理论和它们的区别？

答：A) 本征电击穿理论：

当电场上升到使平衡破坏时，碰撞电离过程便立即发生。把这一起始场强作为介质电击穿场强的理论即为本征击穿理论。多发生在温度较低、电压作用时间较短时，纯净、均匀固体电介质中。

B) “雪崩”电击穿理论：

“雪崩”电击穿理论以碰撞电离后自由电子数倍增至一定数值(足以破坏介质绝缘状态)作为电击穿判据。Seitz 提出以电子“崩”传递给介质的能量足以破坏介质晶体结构作为击穿判据。

“雪崩”电击穿和本征电击穿在理论上有明显的区别：本征击穿理论中增加导电电子是继稳态破坏后突然发生的，而“雪崩”击穿是考虑到高场强时，导电电子倍增过程逐渐达到难以忍受的程度，最终介质晶格破坏。

五、计算题（选做 2 个，每个 10 分，共 20 分）

1.一陶瓷零件上有一垂直于拉应力的边裂，如边裂长度为：(1) 2mm；(2)0.049mm；(3)2μm；分别求上述三种情况下的临界应力。设此材料的断裂韧性为 $1.62\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 。讨论诸结果。

$$\text{解： } K_I = Y\sigma\sqrt{c}$$

$$Y=1.12\sqrt{\pi}=1.98$$

$$\sigma = \frac{K_I}{1.98\sqrt{c}} = 0.818c^{-1/2}$$

$$(1)c=2\text{mm}, \sigma_c = 0.818 / \sqrt{2 \times 10^{-3}} = 18.25\text{MPa}$$

$$(2)c=0.049\text{mm}, \sigma_c = 0.818 / \sqrt{0.049 \times 10^{-3}} = 116.58\text{MPa}$$

$$c=2\mu\text{m}, \sigma_c = 0.818 / \sqrt{2 \times 10^{-6}} = 577.04\text{MPa}$$

显然，随着边裂纹长度 c 的减小，临界应力变大。

2.康宁 1723 玻璃(硅酸铝玻璃)具有下列性能参数： $\lambda = 0.021\text{J}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$ ； $\alpha = 4.6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ；

$\sigma_f = 70\text{MPa}$ ， $E = 67\text{GPa}$ ， $\mu = 0.25$ 。求第一及第二热冲击断裂抵抗因子。

解：第一冲击断裂抵抗因子： $R = \frac{\sigma_f(1-\mu)}{\alpha E}$

$$= \frac{70 \times 10^6 \text{ Pa} \times (1 - 0.25)}{4.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times 67 \times 10^9 \text{ Pa}}$$

$$= 170^\circ\text{C}$$

第二冲击断裂抵抗因子： $R' = \frac{\lambda \sigma_f(1-\mu)}{\alpha E}$

$$= 170 \times 0.021 = 3.57 \text{ J/(cm} \cdot \text{s)}$$

3.一截面为 0.6cm^2 ，长为 1cm 的 n 型 GaAs 样品，设 $\mu_n = 8000\text{cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ ，
 $n = 10^{15}\text{cm}^{-3}$ ，试求该样品的电阻。

解：

$$\because \rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{ne\mu_n} = \frac{1}{10^{15}\text{cm}^{-3} \times 1.6 \times 10^{-19}\text{C} \times 8000\text{cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})} = 0.781\Omega \cdot \text{cm}$$

$$\therefore R = \rho \cdot \frac{l}{S} = 0.781\Omega \cdot \text{cm} \times \frac{1\text{cm}}{0.6\text{cm}^2} = 1.3\Omega$$

由于笔者水平有限，如有错误之处，还望批评指正！