

n 型 LPE GaAs 层中几种电子 辐照缺陷的研究

姚秀琛 元民华 秦国刚

(北京大学物理系)

丁墨元 施益和

(有色金属研究总院, 北京)

钱 思 敏

(北京师范大学低能核物理研究所)

1984年7月4日收到

用 DLTS 法结合 $C-V$ 法,研究了不同能量的电子辐照 (0.5MeV, 1MeV, 5MeV) 在 n 型 LPE GaAs 层中产生的 E_1 、 E_2 、 E_3 和 P_1 、 P_2 、 P_3 等缺陷的引入率及其在 400—550K 范围内的等时退火行为。由引入率与电照能量的关系推断, P_1 、 P_2 两缺陷是与两个以上原子位移有关的缺陷,而不是象 E_1 、 E_2 、 E_3 那样的单原子位移缺陷。5MeV 电照下, E_1 与 E_2 的引入率分别是 0.5-MeV 电照的 13 倍和 9 倍,而在这两个能量下, E_3 的引入率之比却是 55 倍。这说明 E_3 不仅可以由电照直接引入,也可以由较大能量电照产生的某种多位移缺陷的分解而引入。

一、引 言

从 60 年代初开始,人们对电子辐照在 GaAs 中引入的缺陷进行了许多研究^[1],但是至今对这些缺陷的起因及结构仍无肯定的结论。用深能级瞬态谱 (DLTS)^[2] 方法已经查明,在室温下用 1MeV 电子辐照,在 GaAs 中引入 5 个电子陷阱(标为 E_1 — E_5) 和一个空穴陷阱(标为 H_1)^[3]。一般认为这些缺陷是简单的本征缺陷,它们的引入和辐照前材料中的杂质无关^[4],和材料的制备技术(液相外延,气相外延或体材料)也无关^[5],引入的缺陷浓度在很大范围内与 1MeV 电照的剂量成正比^[3]。这些缺陷是由 GaAs 晶体中单个原子被电子轰击而离开原晶格位置所致,而不是由两个或更多相邻的原子位移形成。Lang 等人^[6]认为这些缺陷是由于 Ga 原子的位移形成,其中 E_1 就是 Ga 空位 (V_{Ga}); 而 Pons 等人^[7,8]则认为,这些缺陷是由于 As 原子的移动形成,其中 E_2 是空位缺陷,而其它则是和空位与间隙原子或空位与反位缺陷有关的紧密对 (close pair)。Wallis 等人^[9]测得流体静压力下 E_2 、 E_3 和 E_4 的能级移动的压力系数,认为 Lang 等人的 E_1 由 V_{Ga} 引起的结论的论据是远远不够的。

Pons 等人^[5],用引入率和电照能量的关系,测得 GaAs 中原子被电子碰撞离开原晶格位置的阈值能量为 10eV,对应于 0.25MeV 的电子束能量,同时还提出可用引入率和电照能量的关系求得缺陷引入的阈值能量,进而判断缺陷是单原子还是双原子位移缺陷。Pons 等人^[7,10]在 VPE GaAs 材料 1-MeV 电照缺陷的研究中还观察到 P_1 、 P_2 、 P_3 三个电

子陷阱。他们认为 P_1 可能是在“E”缺陷(泛指前述的 E_1-E_3 等缺陷)的退火过程中产生的, 并且可能就是 VPE GaAs 中经常出现的 EL_5 缺陷。而 P_2, P_3 是由电照产生的, 在未退火之前它们被 E_4 和 E_5 所掩盖, 直到 E_4, E_5 两缺陷退掉之后才显露出来。

我们认为, 如果“P”缺陷(泛指 P_1-P_3 等缺陷)也是单位移缺陷, 则它们的引入率与能量的关系应与“E”缺陷类似。如果“P”缺陷不是简单的缺陷, 那么只有在较大能量电照下才有明显的引入率。本工作就是在较宽的范围内 (0.5MeV, 1MeV, 5MeV), 对比研究不同能量电照下“E”缺陷和“P”缺陷在 LPE GaAs 层中的引入率及其退火行为。试图从中得到一些有关“P”缺陷的性质的信息。

二、样品和实验

用掺 Sn 的 n 型液相外延 GaAs 片(载流子浓度为 $1-6 \times 10^{15}/\text{cm}^3$, 外延层厚度 10—20 μm), 衬底是 n^+ 层。背面真空蒸发银、锡后, 在 450°C 下合金十分钟形成欧姆接触。正面真空蒸发 Au 层形成肖特基接触(面积为 $6.4 \times 10^{-3}\text{cm}^2$)。电子辐照前, 用 C-V 法测定载流子浓度。经 DLTS 法观察, 所有样品在电照前都不存在浓度大于 $10^{11}/\text{cm}^3$ 的任何电子陷阱。接着在室温下分别进行 0.5MeV (剂量 $\Phi: 6 \times 10^{14}/\text{cm}^2$), 1MeV ($\Phi: 6 \times 10^{14}/\text{cm}^2$) 和 5MeV ($\Phi: 1.5 \times 10^{14}/\text{cm}^2$) 的电子辐照。载流子浓度的去除率 ($\Delta n/\Phi$) 分别为: 0.5/cm (0.5 MeV), 0.9/cm (1MeV), 和 5.0/cm (5 MeV) 左右。电照后用 DLTS 结合 C-V 法, 测定各电子陷阱的表观激活能和浓度, 并观察其随退火温度的变化。退火在 400—550K 范围内进行, 退火温度间隔一般为 40—50K, 每个温度下退火 10 分钟。退火温度的精度为 ± 5 度。超过 300°C 后样品的肖特基性能变坏, 已无法测量了。

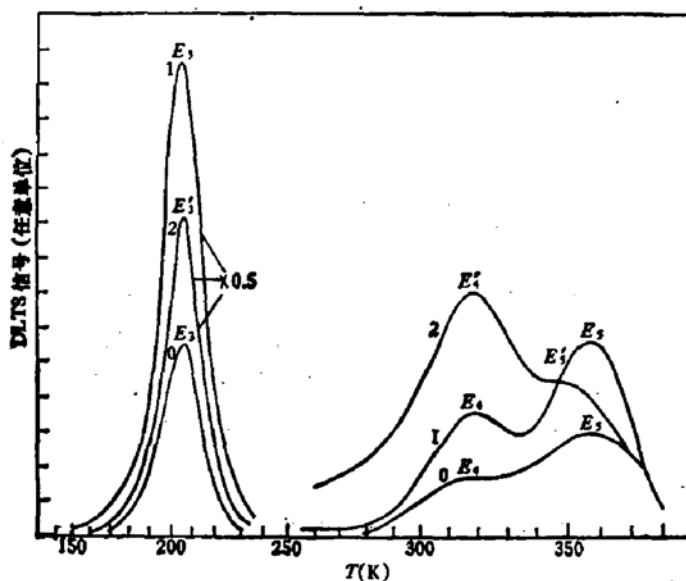


图1 n型 LPE GaAs 中部分电照缺陷的 DLTS 谱图。0—0.5MeV 电照, $\Phi = 6 \times 10^{14}/\text{cm}^2$; 1—1MeV 电照, $\Phi = 6 \times 10^{14}/\text{cm}^2$; 2—5MeV 电照, $\Phi = 1.5 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ 。率窗: 139s^{-1} , $t_2/t_1 = 2$

三、实验结果

图 1 中的曲线 0 和 1 分别表示典型的 0.5MeV 和 1MeV 电照缺陷的 DLTS 谱图。因为低温条件的限制,无法研究 E_1 、 E_2 两个缺陷。从图上可以很清楚地看到对应于 E_3 、 E_4 、 E_5 三个缺陷的峰。图 2 表示 1MeV 电照缺陷的 DLTS 谱图随退火温度的变化。如果

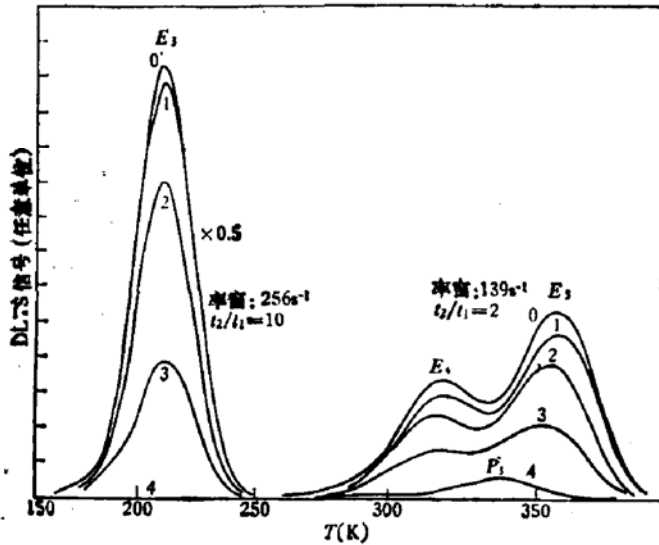


图 2 1MeV 电照 n 型 LPE GaAs 层中的缺陷在未退火时(0), 150°C 退火 10 分钟(1), 190°C 退火 10 分钟(2), 230°C 退火 10 分钟(3)和 285°C 退火 10 分钟(4)后的 DLTS 谱图

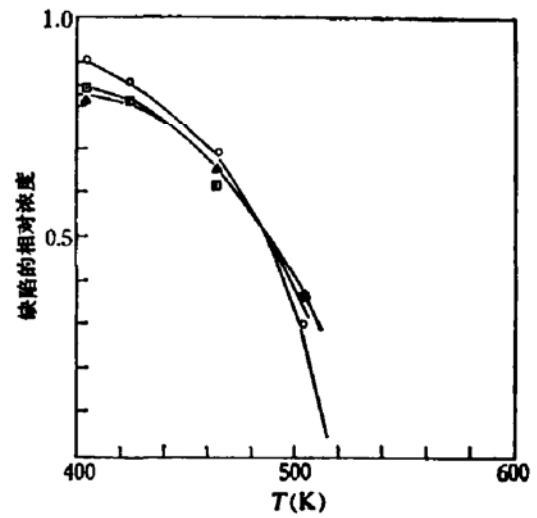


图 3 1MeV 电照缺陷 E_3 、 E_4 、 E_5 的相对浓度随退火温度的变化。○、△和□分别代表 E_3 、 E_4 和 E_5 缺陷

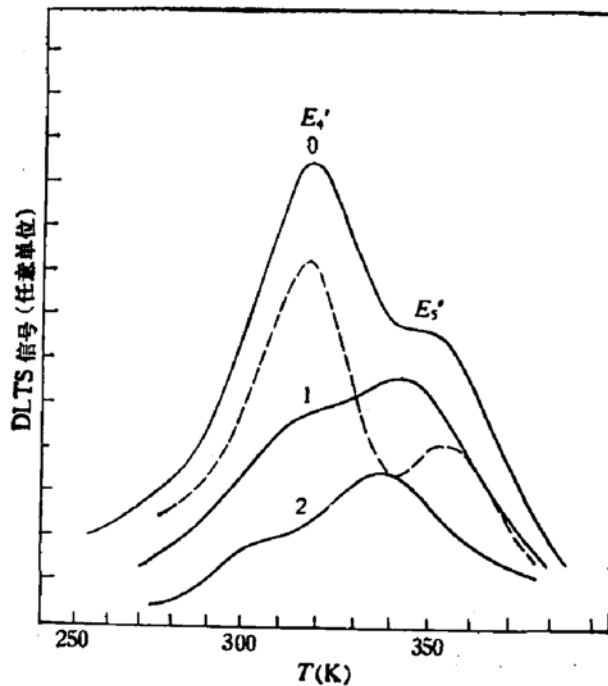


图 4 5MeV 电照 LPE GaAs 层在未退火时(0), 220°C 退火 10 分钟(1), 285°C 退火 10 分钟(2)后室温以上的 DLTS 谱图。虚线是(0)和(2)两条曲线之差。率窗: $139s^{-1}$, $t_2/t_1 = 2$

把各个缺陷的浓度随退火温度的变化分别用未退火前各缺陷的浓度去归一, 就得到象图 3 所示的各缺陷的相对浓度随退火温度的变化。从图 3 可以看到各缺陷浓度在 480K 左右退成原来的 1/2。这点和 Pons 等人^[7]的结果 (470K) 比较一致。仔细观察图 2, 可以看到 E_4 、 E_5 峰随退火温度的升高, 不但高度下降而且峰温还向低温方向稍稍移动, 其中 E_5 峰温的移动更为明显。285℃ 退火 10 分钟后, 在 340K 附近还保留一个很小的峰。

图 1 中的曲线 2 是 5MeV 电照 ($\Phi = 1.5 \times 10^{14}/\text{cm}^2$) 后的 DLTS 谱图。可以看到也有三个主要的峰, 暂且先标为 E'_3 、 E'_4 和 E'_5 。 E'_5 是作为一个“肩膀”出现。对比曲线 1 和 2, 可以看到: (i) E'_3 峰和 E_3 峰出现的温度几乎完全一样。我们定出 E'_3 的表观激活能为 $0.38 \pm 0.02\text{eV}$, 和 Lang 等人^[3]报道的 0.41eV 比较一致。所以可以认为 5MeV 电照下的 E'_3 峰就是 E_3 缺陷。(ii) E'_4 、 E'_5 峰和 1MeV 电照的 E_4 、 E_5 峰很不一样。除两个峰的相对高低和 1MeV 电照正相反外, 作为“肩膀”出现的 E'_5 峰明显地出现在 E_5 峰的低温侧。有理由认为由较低能量 (0.5MeV, 1MeV) 电照产生的 E_4 、 E_5 缺陷, 在 5MeV 电照下也应出现。那么 5MeV 电照的谱图之明显不同于 0.5MeV 和 1MeV 就表明, 除了 E_4 、 E_5 之外, 5MeV 电照在其附近引入了新的能级。这一看法可以从退火实验中找到依据。

图 4 是 5MeV 电照缺陷室温以上的 DLTS 谱图随退火温度的变化。从中看到随退火温度的升高, E'_4 峰高下降, E'_5 峰变得越来越明显并且峰温向低温方向移动。对比图中 0 和 2 两条曲线, 可见 285℃ 退火后 E'_4 和 E'_5 两峰都向低温方向移动而且高度比反了过来。最后, 我们把经过 285℃ 10 分钟退火后, 0.5MeV、1MeV 和 5MeV 电照的 DLTS 谱图一起画在图 5 中。

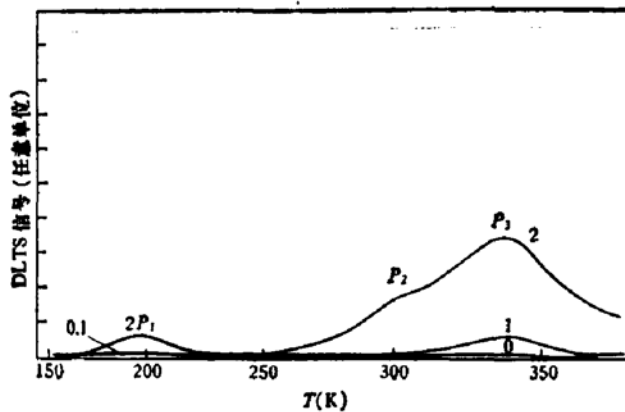


图 5 285℃ 退火 10 分钟后, 0.5MeV (曲线 0), 1MeV (曲线 1) 和 5MeV (曲线 2) 电照 n 型 LPE GaAs 的 DLTS 谱图。率窗: 139s^{-1} , $t_2/t_1 = 2$

5MeV 电照的 E'_4 、 E'_5 峰温在退火过程中的移动显然是因为 E_4 、 E_5 缺陷被退掉所致。根据 1MeV 电照缺陷的退火实验 (见图 2), 在 285℃ 10 分钟退火后, E_3 、 E_4 和 E_5 等缺陷已基本退光, 所以可以断定图 5 中 5MeV 电照缺陷谱图中室温以上的两峰就对应由 5MeV 电照产生的另外两个缺陷。至于在 200K 附近出现的峰, 还不能断定它是电照后就有的还是由于辐照并经过退火才出现的。但肯定在辐照前它是不存在的。表 1 中列出测得的 5MeV 电照退火后剩下三个缺陷的表观激活能和发射俘获截面。图 6 中画出了三个缺陷

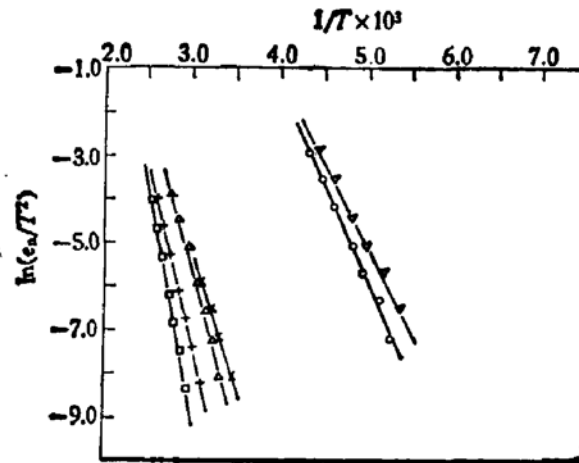


图 6 E_3 、 E_4 、 E_5 和 P_1 、 P_2 、 P_3 各缺陷的 Arrhenius 图
 \circ 、 Δ 和 \square 代表 E_3 、 E_4 和 E_5 ， ∇ 、 \times 和 $+$ 代表 P_1 、 P_2 和 P_3

的 Arrhenius 图。在表 1 中同时列出了 Pons 等人^[7]在 1MeV 电照 (VPE GaAs Φ : $8 \times 10^{15}/\text{cm}^2$) 缺陷的退火研究中测得的 P_1 、 P_2 和 P_3 三个电子陷阱的实验数据。这两组数据之间符合的很好。因此我们认为,在 5MeV 电照退火后测得的这三个缺陷就是 Pons 等人测得的 P_1 、 P_2 、 P_3 。此外,从图 5 中还可以看到,在 1MeV 电照退火后只能观察到一个很小的 P_3 峰,而在 0.5MeV 电照退火后的 DLTS 谱图中没有观察到浓度大于 $10^{11}/\text{cm}^3$ 的任何电子陷阱。

表 1 本工作和 Pons 等人测得的 P_1 、 P_2 、 P_3 等缺陷的表现激活能 E_a 和发射俘获截面 σ_n

数据来源	缺陷			
	E_a (eV) σ_n (cm^2)	P_1	P_2	P_3
本工作	E_a (eV)	0.34 ± 0.02	0.51 ± 0.03	0.74 ± 0.02
	σ_n (cm^2)	8.8×10^{-19}	1.2×10^{-18}	4.8×10^{-18}
Pons 等人 ^[7]	E_a (eV)	0.36	0.50	0.72
	σ_n (cm^2)	6.9×10^{-19}	1.4×10^{-18}	1.4×10^{-18}

从文献[7]中的图 2 和图 5 我们可以看到: (1) P_2 、 P_3 缺陷在温度 $< 550\text{K}$ 时是相当稳定的,直到 600K 才开始下降,退火温度 $\geq 650\text{K}$ 。(2) 虽然 Pons 等人在文献[7]中没有报道 P_3 的引入率,但从上述两图中可以估计出由 1MeV 电照在 VPE 材料中引入的 P_3 浓度大约是退火前 E_3 浓度的 $1/4$ 。对比本文中的图 2,值得指出的是在 LPE 材料中,由 1MeV 电照引入的 P_3 浓度大约只有 E_3 的 $1/10$ 。可见 P_2 、 P_3 在 VPE 材料中的引入率约为 LPE 材料的 2—3 倍。再注意到 Lang 等人^[9,10]在 1MeV 电照的 LPE 材料中并未发现 P_2 、 P_3 的存在,所以同样在 LPE 材料中, P_2 、 P_3 的引入率也不一样,可能它们的引入率和杂质及结构缺陷有关。

如果假定在 $< 550\text{K}$ 温度范围内 P_2 、 P_3 的浓度不变并注意到退火前后电容及载流子浓度的变化,我们可以从 5MeV 电照退火前的 DLTS 谱图中减去 285°C 退火后的谱图,

而近似得到一条 5MeV 电照下退火前与 E_4 、 E_5 对应的谱图(见图 4 中的虚线),从中可以求得 5MeV 电照下 E_4 、 E_5 的浓度和引入率. 而从 5MeV 285°C 退火后的谱图中可以求得 P_2 、 P_3 的引入率. 表 2 中列出了我们测得的 0.5MeV、1MeV、5MeV 电照下各个缺陷的引入率,从表中可以看到以下 3 点:(1)在 1MeV 电照下 P_3 开始引入,直到 5MeV 电照下, P_2 、 P_3 才有较明显的引入率.(2)5MeV 电照时 E_3 、 E_5 的引入率分别是 0.5MeV 电照时的 13 倍和 9 倍,而 5MeV 电照时 E_4 的引入率是 0.5MeV 电照的 55 倍!(3)在 5MeV 电照时, E_4 、 E_5 、 P_2 、 P_3 之中, E_4 的引入率最大,约为 P_2 的 4 倍, E_5 和 P_3 的引入率相近并居中,而 P_2 的引入率稍小.

表 2 不同能量电照下 E_3 、 E_4 、 E_5 及 P_1 、 P_2 、 P_3 等缺陷的引入率

电照能量 \ 缺陷引入率 (1/cm)	F_3	E_4	E_5	P_2	P_3
0.5MeV	7.2×10^{-2}	4.0×10^{-3}	1.1×10^{-2}	0	0
1MeV	2.8×10^{-1}	3.7×10^{-2}	5.7×10^{-2}	0	5.0×10^{-3}
5MeV	9.0×10^{-1}	2.2×10^{-1}	9.7×10^{-2}	5.3×10^{-2}	8.8×10^{-2}

四、讨 论

半导体受到高能电子辐照时,电子和晶格原子发生碰撞,使得晶格原子获得一定的反冲能量. 当反冲能量大于某一阈值 T_d 时,晶格原子就离开了正常晶格位置进入间隙位置而形成与单个原子位移有关的各种辐照缺陷. 如果电子束的能量足够大,晶格原子获得的反冲能量足以把两个以上的相邻原子同时打离正常晶格位置,而形成与多原子位移有关的缺陷. Pons 等人在 1980 年的工作^[5]中,测得 $T_d = 10\text{eV}$. 在 1981 年^[6]他们又沿 $[111]$ 和 $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ 晶向电子辐照,分别测得对 As 原子 $T_d = 9\text{eV}$ 而对 Ga 原子在散射角 $Q < 57^\circ$ 时, $T_d = 11\text{eV}$,而 $Q > 57^\circ$ 时 $T_d = 7\text{eV}$. 利用他们测得的数据可以计算出当原子的最大反冲能量 T_m 等于 T_d 时所对应的入射电子束能量. 考虑了相对论后人射电子束能量 E 和原子获得的最大反冲能量 T_m 的关系是^[9]

$$T_m = \frac{2E}{Mc^2} (E + 2mc^2) \quad (1)$$

式中: M 是晶格原子的质量; m 是电子的质量; c 是真空中光速. 由(1)式可以求得对应于一定反冲能量 T_m 的电子束能量 E . 在做数值计算时可用下式:

$$E = 0.511[\sqrt{1 + 1.783 \times 10^{-3} \cdot A \cdot T_m} - 1] \quad (2)$$

(2) 式中 E 以 MeV 为单位; T_m 的单位是 eV; A 是晶格原子的原子量. 对 As 原子 $A_{As} = 72$, $T_d = 9\text{eV}$, 用(2)式计算出 $E = 0.25\text{MeV}$. 对 Ga 原子, $A_{Ga} = 69$, $T_d = 11\text{eV}$, $E = 0.27\text{MeV}$. 这就是说用 0.25MeV 的电子束已经可以在 GaAs 中产生与单位位移有关的缺陷 (E_1 — E_5 , H_1 等). 这点已为 Pons 等人^[5,7]的实验所证实. 而我们的实验

结果是 P_2 、 P_3 缺陷在 0.5MeV 电照下还不出现, 1MeV 电照下仅看到 P_3 的一个小峰, 在 5MeV 电照下 P_2 、 P_3 才明显起来。由此推断, P_2 、 P_3 是与多原子位移有关的缺陷, 而不是象 E_3 、 E_4 、 E_5 那样的单位移有关缺陷, 否则 P_2 、 P_3 在 0.25MeV 或在 0.27MeV 电照下就应该出现。

至于 P_2 、 P_3 是什么样的具体结构, 现在还无法判断, 但我们认为至少它们不会是单纯的双空位 [V_{Ga} 、 V_{As}], 理由有两点: (1) 如果是单纯的双空位, 它们的引入率在不同的材料 (VPE, LPE 等) 中应该相近, 而不应该象在第三节中提到的那样引入率因材料而异。2) 虽然 $>0.5\text{MeV}$ 的电照就可以在 GaAs 中产生双空位, 但是 GaAs 中的双空位很可能在室温下是不稳定的。Pons 等人^[5]曾提出低温下电照的 GaAs, 在室温以下 (235K 和 280K) 两个退火阶段正对应于双空位的分解的观点。

E_4 的引入率随电照能量增加很快这一事实直接从图 1 所示的谱图也可以看出, 在 0.5MeV 电照的谱图中 E_4 作为一个“肩膀”出现, 在 1MeV 电照的谱图中 E_4 、 E_5 两峰分得很清楚, 但 E_5 峰要高些。在 5MeV 电照时情况就反过来了, E_5 峰反而变成了“肩膀”。 E_4 的引入率随电子束能量的增加要比 E_3 、 E_5 快得多。我们认为这是由于在大能量电照下产生了某种在室温下就可以分解的多位移有关缺陷 (很可能就是室温下不稳定的双空位) 这种缺陷可以分解为 E_4 。换句话说, E_4 缺陷虽然和其他的“E”缺陷一起同是单位移缺陷 (否则在 0.25MeV 电照下不会出现), 但它不但可以由电照本身引入, 而且还可以由大能量电照产生的某种在室温下就可以分解的多位移缺陷的分解而引入。

5MeV 电照室温以上的 DLTS 谱图事实上包含有 E_4 、 E_5 、 P_2 和 P_3 四个缺陷的峰。其中 E_4 的引入率最大, 使得 E_4 峰较高。而 E_5 和 P_3 的引入率彼此相近都比 E_4 要低, 它们合成为一个宽峰作为“肩膀”出现, 而且峰温比 1MeV 电照的 E_5 明显地低。 P_2 的引入率最小, 故还不致于使 E_4 峰温明显地向低温移动。

表 3 中列出了本工作测得的 E_3 、 E_4 、 E_5 各缺陷的表观激活能, 图 6 中还给出了 E_3 、 E_4 、 E_5 各缺陷的 Arrhenius 图。表 3 中还列出了 Lang 等人^[3]和 Pons 等人^[5,7]测得的数据以资对比, 他们的数据分别是在 1MeV 电照的 LPE 和 VPE 材料中取得。从表中所列的数据看, 各人测得的 E_3 — E_5 各缺陷的表观激活能都不大相同, E_3 的数值较为接近, E_4 、 E_5 则相差较大。造成以上差别的原因, 除了因材料电阻率、辐照剂量和测量时使用的偏压不同而带来的电场效应外, P_2 、 P_3 的干扰是造成 E_4 、 E_5 的数据相差较大的重要原因。这点可由以下几个方面来说明: (1) 对 E_5 缺陷来说, 由于它的引入率较大, 未退火

表 3 n 型 GaAs 中电照缺陷 E_3 、 E_4 、 E_5 的表观激活能 E_a

数据来源及使用材料	E_3 (eV)	E_4 (eV)	E_5 (eV)
本工作 (LPE GaAs)	0.38 ± 0.02	0.67 ± 0.02	0.94 ± 0.03
Lang 等人 ^[3] (LPE GaAs)	0.41	0.71	0.90
Pons 等人 ^[5,7] (VPE GaAs)	0.35	0.62	0.83

时不存在 P_1 的干扰,所以无论是 0.5MeV、1 MeV、5MeV 电照,测得的表观激活能都在 $0.38 \pm 0.02\text{eV}$. 离散性较小。(2)对 E_4 、 E_5 则要分析具体情况。我们在 0.5MeV 和 1MeV 电照后测得的 E_4 、 E_5 的表观激活能分别为 $0.64 \pm 0.04\text{eV}$ 、 $0.94 \pm 0.03\text{eV}$ 和 $0.67 \pm 0.02\text{eV}$ 、 $0.93 \pm 0.03\text{eV}$. E_5 的数据很一致,由于 0.5MeV 下不存在 P_2 、 P_3 的干扰,表 3 中取了 0.5MeV 电照的数值。但是在 0.5MeV 电照下, E_4 的引入率较小,在谱图上只作为一个“肩膀”出现,必然造成较大的测量误差。而在 1MeV 电照下 P_2 、 P_3 浓度还很小其影响可以忽略,所以表 3 中 E_4 取了 1MeV 电照的数据。5MeV 电照时,因为有相当数量的 P_2 、 P_3 ,原则上说已无法测准 E_4 、 E_5 的表观激活能。因为谱图上的 E_4' 峰及其“肩膀” E_5' 不是单纯的 E_4 、 E_5 缺陷峰,致使测定的 E_4' 、 E_5' 的激活能表现出很大的离散性, E_4' 为 $0.61-0.69\text{eV}$, E_5' 为 $0.83-0.96\text{eV}$ 。(3)值得提出的是 Lang 和 Pons 都是用 1MeV 电照,但使用的材料不同。Lang 等人使用 LPE 材料他们没有发现 P_1 、 P_2 、 P_3 . 而 Pons 等人使用 VPE 材料并发现 P_1 、 P_2 、 P_3 , 这说明 P_1 、 P_2 、 P_3 在 VPE 材料中的引入率较大,致使他们的 E_4 、 E_5 的数据相差较大。

五、结 论

研究了不同能量的电子辐照在 n 型 LPE GaAs 层中产生的 E_3 、 E_4 、 E_5 和 P_1 、 P_2 、 P_3 等缺陷。在 5MeV 电照并 285°C 退火 10 分钟后,我们在 LPE 材料中也观测到 Pons 等人^[7,10]在 1MeV 电照 n 型 VPE 层中观察到的 P_1 、 P_2 、 P_3 等缺陷。而 Lang^[3,10] 在 1MeV 电照的 LPE GaAs 中未发现它们的存在。根据引入率与电照能量的关系判断, P_2 、 P_3 是电照产生的与多原子位移有关的缺陷。而 P_1 缺陷的产生和电照及“E”缺陷的退火有关,不是材料的本征缺陷。实验表明 E_4 的引入率随电子束能量的增加而增加比起 E_3 、 E_5 来要快得多。这说明 E_4 虽然也是单位移有关缺陷,但它既可以由电照直接引入,也可以由大能量电照产生的某种在室温下就可以分解的多位移有关缺陷的分解而引入。要测准 E_4 、 E_5 等与单位移有关缺陷的表观激活能,除了应选取电阻率较高的材料以避免电场效应外,还应尽量回避或减少 P_2 、 P_3 缺陷的干扰,为此最好选用 P_2 、 P_3 引入率较低的 LPE 材料并用较低能量的电子束辐照。

本工作中 0.5MeV、1MeV 电照得到上海原子核研究所马新生同志的帮助,在此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] D. V. Lang, *Inst. Phys. Conf. Ser.* 31, p. 70(1977).
- [2] D. V. Lang, *J. Appl. Phys.*, 45, 3023(1974).
- [3] D. V. Lang and L. C. Kimerling, *Inst. Phys. Conf. Ser.* 23, p. 581(1975).
- [4] T. I. Kolchenko and V. M. Lomako, *Sov. Phys. Semicond.*, 9, 1153(1975).
- [5] D. Pons, P. M. Mooney and J. C. Bourgoin, *J. Appl. Phys.*, 51, 2038(1980).
- [6] D. V. Lang, R. A. Logan and L. C. Kimerling, *Phys. Rev.*, B15, 4874(1977).
- [7] D. Pons, A. Mircea and J. C. Bourgoin, *J. Appl. Phys.*, 51, 4150(1980).
- [8] D. Pons and J. C. Bourgoin, *Phys. Rev. Lett.*, 47, 1293(1981).
- [9] R. H. Wallis, A. Zylbersztejn and J. M. Besson, *Appl. Phys. Lett.*, 38, 698(1981).

- [10] D. Pons, A. Mircea, A. Mitonneau and G. M. Martin, *Defects and Radiation Effects in Semiconductors*, p. 352(1978).

A Study of Several Kinds of Electron Irradiation-Induced Defects in n-Type LPE GaAs Layers

Yao Xiuchen, Yuan Minhua, Qin Guogang

(*Department of Physics, Peking University*)

Ding Moyuan, Shi Yihe

(*General Research Institute for Non-Ferrous Metal*)

Qian Simin

(*Research Institute for Low Energy Electron, Peking Normal University*)

Abstract

Using DLTS method in conjunction with $C-V$ method, the introduction rate and isochronal annealing behavior (from 400 K to 550 K) of E_s , E_4 , E_3 and P_1 , P_2 , P_3 traps induced by 0.5 MeV, 1 MeV and 5 MeV electron irradiation at room temperature in n-Type LPE GaAs layers have been studied. Judging from the dependence of introduction rates on irradiation energy, P_1 and P_3 traps are associated with the displacement of two or more neighboring atoms and not with the displacement of one single atom like E_s , E_4 and E_3 traps. It has been found that, when irradiation energy is changed from 0.5 MeV to 5 MeV, the introduction rates of E_s and E_3 defects are increased by 13 and 9 times respectively, while the introduction rate of E_4 trap is increased by a factor of 55. Thus, E_4 trap can be created not only by irradiation itself, but also by the dissociation of certain complex defect, which is unstable at room temperature and created by the irradiation of higher energy.