发明名称: 生长在Si衬底上的InGaAs薄膜及其制备方法

[1] 技术领域

[2] 本发明涉及InGaAs薄膜及其制备方法，特别涉及一种生长在Si衬底上的InGaAs薄膜及其制备方法。

[3] 背景技术

[4] III-V族化合物由于具有稳定性好、有效质量小、电子迁移率和峰值速度高、以及光吸收系数较高等优点，被广泛地应用于光电器件中。在这当中，$In_xGa_{1-x}As$（$0\leq x\leq 1$）材料的禁带宽度随着In组分变化可以在0.35 eV（InAs）~1.43 eV（GaAs）范围内变化。根据这些特性，$In_xGa_{1-x}As$材料特别是In组分为0.53的$In_{0.53}Ga_{0.47}As$材料可以被应用于室温红外探测器、高效叠层太阳能电池中。

[5] 外延生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$材料的常用衬底为InP、GaAs及Si。但InP与GaAs价格昂贵、晶片尺寸较小、并且较脆，不利于工业化生产。Si衬底与InP、GaAs衬底相比，价格低廉，并且易于大尺寸化。同时，现在市场上绝大部分的集成芯片都是Si，因此在Si上生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$薄膜便于将其整合到现有的芯片当中。但是由于Si与$In_{0.53}Ga_{0.47}As$材料间存在着较大的晶格失配（≈9%），这就造成如果直接在Si上生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$，所得到的薄膜中会产生大量的残余应力。大的残余应力对$In_{0.53}Ga_{0.47}As$薄膜性能有很大影响。一方面，大的残余应力可能使$In_{0.53}Ga_{0.47}As$薄膜在生长时产生裂纹甚至开裂。另一方面，大的残余应力将会造成$In_{0.53}Ga_{0.47}As$薄膜中产生大量的缺陷，恶化器件性能。为了在Si衬底上生长出高质量的$In_{0.53}Ga_{0.47}As$材料，最佳途径是在Si衬底上先外延生长缓冲层材料释放应力，然后再外延生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$材料。但目前在$In_{0.53}Ga_{0.47}As$生长中，大多数采用多层的组分渐变、组分跳变、组分逆变等缓冲层结构，这往往造成在生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$材料前需要外延生长多层较厚的缓冲层，生长步骤繁琐，而且很难精确控制每一层材料的成分、厚度、以及晶体质量，从而影响最终获得的$In_{0.53}Ga_{0.47}As$薄膜质量。因此，为了得到低残余应力、高质量的$In_{0.53}Ga_{0.47}As$薄膜，就需要对缓冲层生长工艺进行优化。

[6] 发明内容

[7] 为了克服现有技术的上述缺点与不足，本发明的目的在于提供一种生长在Si衬底上的InGaAs薄膜，该薄膜晶体质量较好、几乎完全弛豫。

[8] 本发明的另一目的在于提供上述长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，采用该方法，在Si衬底上制备得到了晶体质量较好、几乎完全弛豫的$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜，同时大幅度简化了该薄膜材料的生长工艺。

[9] 本发明的目的通过以下技术方案实现：

[10] 生长在Si衬底上的InGaAs薄膜，包括依次排列的Si衬底、低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层、高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层以及$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜，所述低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层为在350~380 ºC生长的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；所述高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层为在500~540 ºC生长的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；所述低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层和高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层的厚度之和为10~20 nm；只有$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层的总厚度控制在10~20nm，生长温度分别控制在350~380 ºC及500~540 ºC，才能降低由于晶格失配造成的应力，使得所制备的$In_{0.53}Ga_{0.47}As$弛豫度高、残余应力低。

[11] 所述生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，包括以下步骤：

[12] （1）对Si衬底进行清洗；

[13] （2）对Si衬底进行预处理；

[14] （3）对Si衬底进行脱氧化膜；

[15] （4）在Si衬底上生长低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层：Si衬底温度为350~380 ºC，在反应室压力为7.2×10^{-5}~1.8×10^{-8} Pa、V/III值为60~80、生长速度为0.5~1 ML/s条件生长4~8 nm的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；

[16] （5）在低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层生长高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层：Si衬底温度为500~540 ºC，在反应室压力为3.0×10^{-5}~2.5×10^{-8} pa、V/III值为20~30、生长速度为0.3~0.5 ML/s条件下生长6~12 nm的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；

[17] （6）在高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层上生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜：Si衬底温度为550~580 ºC，在反应室压力为4.0×10^{-5}~2.7×10^{-8} Pa、V/III值为40~60、生长速度为0.6~1 ML/s条件下，生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜。

[18] 所述Si衬底为(111)晶向的n型Si衬底。

[19] 步骤（1）所述对Si衬底进行清洗，具体为：

[20] 采用丙酮、去离子水洗涤，去除衬底表面有机物；将Si衬底依次置于HF:H_2O=1:10溶液中超声1~3分钟、浓H_2SO_4:H_2O_2:H_2O=4:1:5超声5~10分钟、HF:H_2O=1:10溶液中超声1~3分钟，最后经去离子水清洗去除表面氧化物和有机物；清洗后的Si衬底用高纯氮气吹干。

[21] 步骤（2）所述对Si衬底进行预处理，具体为：

[22] 将清洗后的Si衬底送入分子束外延进样室预除气15~30分钟；再送入传递室300~400 °C除气0.5~2小时，完成除气后送入生长室。

[23] 步骤（3）所述对Si衬底进行脱氧化膜，具体为；

[24] Si衬底进入生长室后，将Si衬底温度升至950~1050 °C，高温烘烤15~30分钟，除去衬底表面的氧化膜层。

[25] 步骤（4）中采用分子束外延或金属有机气相沉积方法制备低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层。

[26] 步骤（5）中采用分子束外延或金属有机气相沉积方法制备高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层。

[27] 步骤（6）中采用子束外延或金属有机气相沉积方法在高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层上生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜。

[28] 与现有技术相比，本发明具有以下优点和有益效果：

[29] （1）本发明使用了低温/高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层技术，可有效过滤衬底与外延层之间由于晶格失配引起的位错，很好地释放应力。

[30] （2）本发明使用低温/高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层，能够有效地抑制界面的起伏，获得光滑平整的表面，能够提高$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜外延层的结晶质量。

[31] （3）本发明使用了低温/高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$双层缓冲层，与多层缓冲层相比，该方法大为简化了缓冲层结构以及外延生长工艺，到达可严格控制外延层的厚度、组分的要求，从而能获得表面形貌好、高弛豫度、晶体质量高的$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜。

[32] 附图说明

[33] 图1为本发明的实施例的生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的示意图。

[34] 图2为本发明的实施例的生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的倒易空间扫描图。

[35] 图3为本发明的实施例的生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的(111)面X射线摇摆曲线。

[36] 具体实施方式

[37] 下面结合实施例，对本发明作进一步地详细说明，但本发明的实施方式不限于此。

[38] 实施例1

[39] 本实施例的生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，包括以下步骤：

[40] （1）对Si衬底进行清洗：采用丙酮、去离子水洗涤，去除衬底表面有机物；将Si衬底依次置于HF:H_2O=1:10溶液中超声1分钟、浓H_2SO_4:H_2O_2:H_2O=4:1:5超声5分钟、HF:H_2O=1:10溶液中超声1分钟，最后经去离子水清洗去除表面氧化物和有机物；清洗后的Si衬底用高纯氮气吹干；

[41] （2）对Si衬底进行预处理：将清洗后的Si衬底送入分子束外延进样室预除气15分钟；再送入传递室300 ºC除气0.5小时，完成除气后送入生长室；

[42] （3）对Si衬底进行脱氧化膜；Si衬底进入生长室后，将Si衬底温度升至950 ºC，高温烘烤30分钟，除去衬底表面的氧化膜层；

[43] （4）采用分子束外延方法在Si衬底上生长低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层：Si衬底温度为350 ºC，在反应室压力为7.2×10^{-5} Pa、V/III值为60、生长速度为0.5 ML/s条件生长4 nm的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；

[44] （5）采用分子束外延方法在低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层生长高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层：Si衬底温度为500 ºC，在反应室压力为3.0×10^{-5} pa、V/III值为20、生长速度为0.3 ML/s条件下生长6 nm的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；

[45] （6）采用分子束外延方法在高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层上生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜：Si衬底温度为550 ºC，在反应室压力为4.0×10^{-5} Pa、V/III值为40、生长速度为0.6 ML/s条件下，生长厚度为120 nm的$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜。

[46] 本实施例制备的生长在Si衬底上的InGaAs薄膜如图1所示，包括依次排列的Si衬底11、低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层12和高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层13以及$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外

延薄膜14。

[47] 如图2所示，本实施例制备得到的生长在Si衬底上的InGaAs薄膜，弛豫度达到了95.6%，处于几乎为完全弛豫的状态，(111)面X射线摇摆曲线半峰宽为0.6°（如图3所示），表明$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜中的应力得到有效的释放，并且晶体质量与通过其他方法在Si上生长的$In_{0.53}Ga_{0.47}As$薄膜相比处于较好水平。

[48] 实施例2

[49] 本实施例的生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，包括以下步骤：

[50] （1）对Si衬底进行清洗：采用丙酮、去离子水洗涤，去除衬底表面有机物；将Si衬底依次置于$HF:H_2O=1:10$溶液中超声3分钟、浓$H_2SO_4:H_2O_2:H_2O=4:1:5$超声10分钟、$HF:H_2O=1:10$溶液中超声3分钟，最后经去离子水清洗去除表面氧化物和有机物；清洗后的Si衬底用高纯氮气吹干；

[51] （2）对Si衬底进行预处理：将清洗后的Si衬底送入分子束外延进样室预除气30分钟；再送入传递室400 ºC除气2小时，完成除气后送入生长室；

[52] （3）对Si衬底进行脱氧化膜；Si衬底进入生长室后，将Si衬底温度升至1050 ºC，高温烘烤15分钟，除去衬底表面的氧化膜层；

[53] （4）采用金属有机气相沉积方法在Si衬底上生长低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层：Si衬底温度为380 ºC，在反应室压力在1.8×10^{-8} Pa、V/III值为80、生长速度1 ML/s条件生长8 nm的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；

[54] （5）采用金属有机气相沉积方法在低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层生长高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层：Si衬底温度为540 ºC，在反应室压力2.5×10^{-8} pa、V/III值20~30、生长速度0.3~0.5 ML/s条件下生长12 nm的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；

[55] （6）采用金属有机气相沉积方法在高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层上生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜：Si衬底温度为580 ºC，在反应室压力为2.7×10^{-8} Pa、V/III值为60、生长速度为1 ML/s条件下，生长厚度为130 nm的$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜。

[56] 本实施例制备得到的生长在Si衬底上的InGaAs薄膜测试结果与实施例1相类似，在此不再赘述。

[57] 上述实施例为本发明较佳的实施方式，但本发明的实施方式并不受所述实施例的限制，其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替

代、组合、简化，均应为等效的置换方式，都包含在本发明的保护范围之内。

权利要求书

[权利要求 1] 生长在Si衬底上的InGaAs薄膜，其特征在于，包括依次排列的Si衬底、低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层、高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层以及$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜，所述低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层为在350~380 °C生长的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；所述高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层为在500~540 °C生长的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；所述低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层和高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层的厚度之和为10~20 nm。

[权利要求 2] 权利要求1所述生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，其特征在于，包括以下步骤：

（1）对Si衬底进行清洗；

（2）对Si衬底进行预处理；

（3）对Si衬底进行脱氧化膜；

（4）在Si衬底上生长低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层：Si衬底温度为350~380 °C，在反应室压力在7.2×10^{-5}~1.8×10^{-8} Pa、V/III值为60~80、生长速度0.5~1 ML/s条件生长4~8 nm的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；

（5）在低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层生长高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层：Si衬底温度为500~540 °C，在反应室压力为3.0×10^{-5}~2.5×10^{-8} pa、V/III值为20~30、生长速度为0.3~0.5 ML/s条件下生长6~12 nm的$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层；

（6）在高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层上生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜：Si衬底温度为550~580 °C，在反应室压力为4.0×10^{-5}~2.7×10^{-8} Pa、V/III值为40~60、生长速度为0.6~1 ML/s条件下，生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜。

[权利要求 3] 根据权利要求2所述生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，其特征在于，所述Si衬底为(111)晶向的n型Si衬底。

[权利要求 4] 根据权利要求2所述生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，其特征在于，步骤（1）所述对Si衬底进行清洗，具体为：

采用丙酮、去离子水洗涤，去除衬底表面有机物；将Si衬底依次

置于HF:H_2O=1:10溶液中超声1~3分钟、浓H_2SO_4:H_2O_2:H_2O=4:1:5超声5~10分钟、HF:H_2O=1:10溶液中超声1~3分钟，最后经去离子水清洗去除表面氧化物和有机物；清洗后的Si衬底用高纯氮气吹干。

[权利要求 5] 根据权利要求2所述生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，其特征在于，步骤（2）所述对Si衬底进行预处理，具体为：

将清洗后的Si衬底送入分子束外延进样室预除气15~30分钟；再送入传递室300~400°C除气0.5~2小时，完成除气后送入生长室。

[权利要求 6] 根据权利要求2所述生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，其特征在于，步骤（3）所述对Si衬底进行脱氧化膜，具体为；

Si衬底进入生长室后，将Si衬底温度升至950~1050。

C，高温烘烤15~30分钟，除去衬底表面的氧化膜层。

[权利要求 7] 根据权利要求2所述生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，其特征在于，步骤（4）中采用分子束外延或金属有机气相沉积方法制备低温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层。

[权利要求 8] 根据权利要求2所述生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，其特征在于，步骤（5）中采用分子束外延或金属有机气相沉积方法制备高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层。

[权利要求 9] 根据权利要求2所述生长在Si衬底上的InGaAs薄膜的制备方法，其特征在于，步骤（6）中采用子束外延或金属有机气相沉积方法在高温$In_{0.4}Ga_{0.6}As$缓冲层上生长$In_{0.53}Ga_{0.47}As$外延薄膜。