(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109727850 B
(45)授权公告日 2020.12.08

(21)申请号 201811564257.4

(22)申请日 2018.12.20

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109727850 A

(43)申请公布日 2019.05.07

(73)专利权人 中国科学院上海微系统与信息技术研究所
地址 200050 上海市长宁区长宁路865号

(72)发明人 吕越 黄浩 贾棋 游天桂 伍文涛 欧欣 高波 王镇

(74)专利代理机构 上海泰能知识产权代理事务所(普通合伙) 31233
代理人 宋缨

(51)Int.Cl.
H01L 21/265(2006.01)
H01L 21/67(2006.01)

(56)对比文件
CN 107523879 A,2017.12.29
CN 102446721 A,2012.05.09
US 5558814 A,1996.09.24

审查员 张志芳

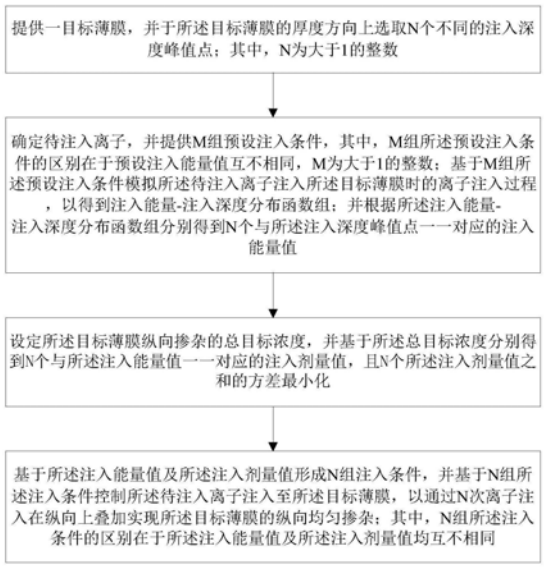
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法

(57)摘要

本发明提供一种利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法,包括于目标薄膜的厚度方向上选取N个不同的注入深度峰值点;确定待注入离子并提供M组预设注入条件以模拟待注入离子注入目标薄膜时的离子注入过程,得到注入能量-注入深度分布函数组,从而得到N个与注入深度峰值点一一对应的注入能量值;设定目标薄膜纵向掺杂的总目标浓度,并基于总目标浓度得到N个与注入能量值一一对应的注入剂量值,且N个注入剂量值之和的方差最小化;基于注入能量值及注入剂量值形成N组注入条件以控制待注入离子注入至目标薄膜,实现通过N次离子注入在纵向上叠加实现目标薄膜的纵向均匀掺杂。通过本发明解决了现有离子注入方法无法实现纵向均匀掺杂的问题。



CN 109727850 B

1.一种利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法,其特征在于,所述方法包括:

提供一目标薄膜,并于所述目标薄膜的厚度方向上选取N个不同的注入深度峰值点;其中,N为大于1的整数;

确定待注入离子,并提供M组预设注入条件,其中,M组所述预设注入条件的区别在于预设注入能量值互不相同,M为大于1的整数;基于M组所述预设注入条件模拟所述待注入离子注入所述目标薄膜时的离子注入过程,以得到注入能量-注入深度分布函数组;并根据所述注入能量-注入深度分布函数组分别得到N个与所述注入深度峰值点一一对应的注入能量值;

设定所述目标薄膜纵向掺杂的总目标浓度,并基于所述总目标浓度分别得到N个与所述注入能量值一一对应的注入剂量值,且N个所述注入剂量值之和的方差最小化;

基于所述注入能量值及所述注入剂量值形成N组注入条件,并基于N组所述注入条件控制所述待注入离子注入至所述目标薄膜,以通过N次离子注入在纵向上叠加实现所述目标薄膜的纵向均匀掺杂;其中,N组所述注入条件的区别在于所述注入能量值及所述注入剂量值均互不相同;

得到所述注入剂量值的方法包括:基于N个所述注入剂量值之和等于所述总目标浓度,得到公式$\sum_{i=1}^{N}\int_{0}^{d} Ni\, f(x-di)=C_1$;同时基于N个所述注入剂量值之和的方差最小化,计算使公式$\int_{0}^{d}\left(\sum_{i=1}^{N} Ni\, f(x-di)-C_2\right)^2 dx$最小化的值,从而得到N个所述注入剂量值;其中,$C_2=\frac{C_1}{d}$,N为注入剂量值的总个数,d为目标薄膜的厚度,Ni为第i个注入剂量值,di为第i个注入深度峰值点,f(x-di)为注入剂量值为Ni、注入深度峰值点为di时注入浓度与注入深度的高斯分布函数,C_1为总目标浓度。

2.根据权利要求1所述的利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法,其特征在于,选取N个所述注入深度峰值点的方法包括:对所述目标薄膜的厚度进行(N+1)等分,以获取N个等分点作为所述注入深度峰值点。

3.根据权利要求1或2所述的利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法,其特征在于,所述注入深度峰值点的选取数量与所述目标薄膜纵向掺杂的均匀程度呈正比。

4.根据权利要求1所述的利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法,其特征在于,得到所述注入能量-注入深度分布函数组的方法包括:基于每组所述预设注入条件,通过蒙特卡洛方法模拟所述待注入离子注入所述目标薄膜时的离子碰撞过程,并基于碰撞过程中的能量损失得到所述待注入离子于所述目标薄膜中的注入深度,以得到每组所述预设注入条件对应的注入能量-注入深度分布函数,从而得到M组所述预设注入条件对应的所述注入能量-注入深度分布函数组。

5.根据权利要求4所述的利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法,其特征在于,碰撞过程中的能量损失通过公式$S=\frac{\kappa Z_2}{\beta^2}Z_1^{\,2}\left[L_0(\beta)+Z_1L_1(\beta)+Z_2^{\,2}L_2(\beta)\right]$计算,且$\kappa=4\pi r_0^2 m_e c^2$;其中,$Z_1$为待注入离子的原子序数,$Z_2$为目标薄膜的原子序数,β为待注入离子的相对粒子速度,r_0为目标薄膜中原子的典型半径,m_e为目标薄膜中的电子质量,c为光速,$L_0(\beta)$

为Bethe-Bloch公式，$L_1(\beta)$为Barkas效应，$L_2(\beta)$为Bloch效应。

6.根据权利要求1所述的利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法，其特征在于，通过N组所述注入条件中的第一组注入条件至第N组注入条件依次控制所述待注入离子注入至所述目标薄膜中，其中第一组注入条件至第N组注入条件中的所述注入能量值依次递减。

一种利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及离子注入领域,特别是涉及一种利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法。

背景技术

[0002] 离子注入是一种对靶进行掺杂的方法,主要是将杂质电离呈离子并聚焦成离子束,在电场中加速而获得极高的动能后,注入到靶中而实现掺杂。

[0003] 离子注入实现薄膜掺杂在许多领域有着重要的应用,如半导体Si中掺杂P元素得到n型半导体,掺杂B元素得到p型半导体,金属薄膜中掺杂其他元素形成合金等等。

[0004] 现有离子注入一般通过采用扫描式离子注入设备实现横向均匀掺杂,但此种方法却无法实现纵向上的均匀掺杂;因此,如何提供一种实现纵向均匀掺杂的离子注入方法是离子注入领域迫切需要解决的技术问题。

发明内容

[0005] 鉴于以上所述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法,用于解决现有离子注入方法无法实现纵向均匀掺杂的问题。

[0006] 为实现上述目的及其他相关目的,本发明提供一种利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法,所述方法包括:

[0007] 提供一目标薄膜,并于所述目标薄膜的厚度方向上选取N个不同的注入深度峰值点;其中,N为大于1的整数;

[0008] 确定待注入离子,并提供M组预设注入条件,其中,M组所述预设注入条件的区别在于预设注入能量值互不相同,M为大于1的整数;基于M组所述预设注入条件模拟所述待注入离子注入所述目标薄膜时的离子注入过程,以得到注入能量-注入深度分布函数组;并根据所述注入能量-注入深度分布函数组分别得到N个与所述注入深度峰值点一一对应的注入能量值;

[0009] 设定所述目标薄膜纵向掺杂的总目标浓度,并基于所述总目标浓度分别得到N个与所述注入能量值一一对应的注入剂量值,且N个所述注入剂量值之和的方差最小化;

[0010] 基于所述注入能量值及所述注入剂量值形成N组注入条件,并基于N组所述注入条件控制所述待注入离子注入至所述目标薄膜,以通过N次离子注入在纵向上叠加实现所述目标薄膜的纵向均匀掺杂;其中,N组所述注入条件的区别在于所述注入能量值及所述注入剂量值均互不相同。

[0011] 可选地,选取N个所述注入深度峰值点的方法包括:对所述目标薄膜的厚度进行(N+1)等分,以获取N个等分点作为所述注入深度峰值点。

[0012] 可选地,所述注入深度峰值点的选取数量与所述目标薄膜纵向掺杂的均匀程度呈正比。

[0013] 可选地,得到所述注入能量-注入深度分布函数组的方法包括:基于每组所述预设

注入条件，通过蒙特卡洛方法模拟所述待注入离子注入所述目标薄膜时的离子碰撞过程，并基于碰撞过程中的能量损失得到所述待注入离子于所述目标薄膜中的注入深度，以得到每组所述预设注入条件对应的注入能量-注入深度分布函数，从而得到M组所述预设注入条件对应的所述注入能量-注入深度分布函数组。

[0014] 可选地，碰撞过程中的能量损失通过公式$S=\frac{\kappa Z_2}{\beta^2}Z_1^{\ 2}\left[L_0(\beta)+Z_1L_1(\beta)+Z_2^{\ 2}L_2(\beta)\right]$计算，且$\kappa=4\pi r_0^{\ 2}m_ec^2$；其中，$Z_1$为待注入离子的原子序数，$Z_2$为目标薄膜的原子序数，β为待注入离子的相对粒子速度，r_0为目标薄膜中原子的典型半径，m_e为目标薄膜中的电子质量，c为光速，$L_0(\beta)$为Bethe-Bloch公式，$L_1(\beta)$为Barkas效应，$L_2(\beta)$为Bloch效应。

[0015] 可选地，得到所述注入剂量值的方法包括：基于N个所述注入剂量值之和等于所述总目标浓度，得到公式$\sum_{i=1}^{N}\int_0^d Ni\,f(x-di)=C_1$；同时基于N个所述注入剂量值之和的方差最小化，计算使公式$\int_0^d\left(\sum_{i=1}^{N}Ni\,f(x-di)-C_2\right)^2dx$最小化的值，从而得到N个所述注入剂量值；其中，$C_2=\frac{C_1}{d}$，N为注入剂量值的总个数，d为目标薄膜的厚度，Ni为第i个注入剂量值，di为第i个注入深度峰值点，f(x-di)为注入剂量值为Ni、注入深度峰值点为di时注入浓度与注入深度的高斯分布函数，C_1为总目标浓度。

[0016] 可选地，通过N组所述注入条件中的第一组注入条件至第N组注入条件依次控制所述待注入离子注入至所述目标薄膜中，其中第一组注入条件至第N组注入条件中的所述注入能量值依次递减。

[0017] 如上所述，本发明的一种利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法，通过得到多次离子注入的注入能量值及注入剂量值，并以得到的注入能量值及注入剂量值为每次离子注入的变量对目标薄膜进行多次离子，最终通过多次离子注入的叠加实现所述目标薄膜在纵向上的均匀掺杂。

附图说明

[0018] 图1显示为本发明所述方法的流程图。

[0019] 图2显示为本发明所述方法中三次离子注入后待注入离子在目标薄膜中的浓度与深度的曲线分布示意图。

具体实施方式

[0020] 以下通过特定的具体实例说明本发明的实施方式，本领域技术人员可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点与功效。本发明还可以通过另外不同的具体实施方式加以实施或应用，本说明书中的各项细节也可以基于不同观点与应用，在没有背离本发明的精神下进行各种修饰或改变。

[0021] 请参阅图1和图2。需要说明的是，本实施例中所提供的图示仅以示意方式说明本发明的基本构想，遂图示中仅显示与本发明中有关的组件而非按照实际实施时的组件数

目、形状及尺寸绘制，其实际实施时各组件的型态、数量及比例可为一种随意的改变，且其组件布局型态也可能更为复杂。

[0022] 如图1所示，本实施例提供一种利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法，所述方法包括：

[0023] 提供一目标薄膜，并于所述目标薄膜的厚度方向上选取N个不同的注入深度峰值点；其中，N为大于1的整数；

[0024] 确定待注入离子，并提供M组预设注入条件，其中，M组所述预设注入条件的区别在于预设注入能量值互不相同，M为大于1的整数；基于M组所述预设注入条件模拟所述待注入离子注入所述目标薄膜时的离子注入过程，以得到注入能量-注入深度分布函数组；并根据所述注入能量-注入深度分布函数组分别得到N个与所述注入深度峰值点一一对应的注入能量值；

[0025] 设定所述目标薄膜纵向掺杂的总目标浓度，并基于所述总目标浓度分别得到N个与所述注入能量值一一对应的注入剂量值，且N个所述注入剂量值之和的方差最小化；

[0026] 基于所述注入能量值及所述注入剂量值形成N组注入条件，并基于N组所述注入条件控制所述待注入离子注入至所述目标薄膜，以通过N次离子注入在纵向上叠加实现所述目标薄膜的纵向均匀掺杂；其中，N组所述注入条件的区别在于所述注入能量值及所述注入剂量值均互不相同。

[0027] 需要注意的是，本实施例所述预设注入条件及所述注入条件其实质是指离子注入时的工艺参数，而所述预设注入条件即是预先设定的工艺参数，而所述注入条件则是通过本实施例所述方法得到的工艺参数。由于离子注入的工艺参数包括注入能量、注入剂量、温度、压力等等，而本实施例中M组所述预设注入条件的区别在于预设注入能量值互不相同是指M组所述预设注入条件中仅预设注入能量值不同，其它工艺参数均相同；而本实施例中N组所述注入条件的区别在于所述注入能量值及所述注入剂量值均互不相同是指N组所述注入条件中注入能量值不同、同时注入剂量值也不同，其它工艺参数均相同。

[0028] 作为示例，选取N个所述注入深度峰值点的方法包括：对所述目标薄膜的厚度进行(N+1)等分，以获取N个等分点作为所述注入深度峰值点；如所述目标薄膜的厚度为300nm，并且N为3时，通过对300nm的所述目标薄膜厚度进行4等分，得到的3个等分点分别为75nm、150nm及225nm，即3个所述注入深度峰值点分别为75nm、150nm及225nm。

[0029] 作为示例，所述注入深度峰值点的选取数量与所述目标薄膜纵向掺杂的均匀程度呈正比；也就是说，所述注入深度峰值点的选取数量越多，后续离子注入后所述目标薄膜纵向掺杂的均匀程度越高，反之所述注入深度峰值点的选取数量越少，后续离子注入后所述目标薄膜纵向掺杂的均匀程度越低。但同时所述注入深度峰值点的选取数量与本实施例所述方法复杂度正相关；也就是说，所述注入深度峰值点的选取数量越多，本实施例所述方法的复杂度越高，反之所述注入深度峰值点的选取数量越少，本实施例所述方法的复杂度越低。因此，在实际应用中，所述注入深度峰值点的选取数量需兼顾纵向掺杂的均匀程度及方法复杂度两方面。

[0030] 作为示例，所述预设注入条件的选取组数与所述注入能量-注入深度分布函数组的精度呈正比；也就是说，所述预设注入条件的选取组数越多，后续得到的所述注入能量-注入深度分布函数组的数量越多、精度越高，反之所述预设注入条件的选取组数越少，后续

得到的所述注入能量-注入深度分布函数组的数量越少、精度越低。但同样的，所述预设注入条件的选取组数与模拟复杂度正相关，也就是说，所述预设注入条件的选取组数越多，模拟复杂度越高，反之所述预设注入条件的选取组数越少，模拟复杂度越低。因此，在实际应用中，所述预设注入条件的选取组数需兼顾所述注入能量-注入深度分布函数组的精度及模拟复杂度两方面。

[0031] 作为示例，得到所述注入能量-注入深度分布函数组的方法包括：基于每组所述预设注入条件，通过蒙特卡洛方法模拟所述待注入离子注入所述目标薄膜时的离子碰撞过程，并基于碰撞过程中的能量损失得到所述待注入离子于所述目标薄膜中的注入深度，以得到每组所述预设注入条件对应的注入能量-注入深度分布函数，从而得到M组所述预设注入条件对应的所述注入能量-注入深度分布函数组；即通过概率确定每组所述预设注入条件下所述待注入离子在所述目标薄膜中的运动轨迹，之后再结合每次碰撞后的能量损失得到所述待注入离子在所述目标薄膜中的停留位置，从而得到每组所述预设注入条件下的注入能量-注入深度分布函数，进而得到所述注入能量-注入深度分布函数组。需要注意的是，本实施例所述注入能量-注入深度分布函数组其实质是多组关于注入浓度与注入深度的高斯分布函数(其横坐标是注入深度，其纵坐标是注入浓度)；而高斯分布的峰值点所对应的注入深度即为此次离子注入的注入深度峰值点；故本实施例在得到所述注入能量-注入深度分布函数组后，通过将不同的注入深度峰值点与多组所述注入能量-注入深度分布函数所对应的注入深度峰值点进行比较，在选取的所述注入深度峰值点与其中一组所述注入能量-注入深度分布函数对应的注入深度峰值点相同或近似相同时，该所述注入能量-注入深度分布函数所对应的注入能量值即为本实施例选取的所述注入深度峰值点所对应的注入能量值。

[0032] 具体的，通过所述蒙特卡洛方法模拟所述待注入离子注入所述目标薄膜时的离子碰撞过程(也即通过概率确定每组所述预设注入条件下所述待注入离子在所述目标薄膜中的运动轨迹)是本领域技术人员所熟知的，故在此不再赘述。而碰撞过程中的能量损失则通过公式 $S=\frac{\kappa Z_2}{\beta^2}Z_1^{\,2}\left[L_0(\beta)+Z_1L_1(\beta)+Z_2^{\,2}L_2(\beta)\right]$ 计算，且 $\kappa=4\pi r_0^{\,2}m_ec^2$；其中，$Z_1$ 为待注入离子的原子序数，Z_2 为目标薄膜的原子序数，β 为待注入离子的相对粒子速度，r_0 为目标薄膜中原子的典型半径，m_e 为目标薄膜中的电子质量，c为光速，$L_0(\beta)$ 为Bethe-Bloch公式，$L_1(\beta)$ 为Barkas效应或 $Z_1^{\,3}$ 效应，$L_2(\beta)$ 为Bloch效应或 $Z_1^{\,4}$ 效应。

[0033] 其中，$L_0(\beta)=\frac{4\pi Z_1^{\,2}e^4}{m_e\nu^2}\rho Z_2\ln\left(\frac{2m_e\nu^2}{I}\right)$，v为待注入离子的速度，e为目标薄膜中的电子电荷，ρ为目标薄膜的原子密度，I为目标薄膜中核外电子的平均激发能或电离能。

[0034] 其中，若采用Lindhard屏蔽势函数，则 $L_1(\beta)=\frac{2Z_1e^2\omega_0}{m_e\nu^3}L_0(\beta)$；若采用远距离碰撞下的Barkas修正，则 $L_1(\beta)=\frac{3\pi Z_1e^2\omega_0}{2m_e\nu^3}\ln\left(\frac{\nu}{1.7\omega_0a_{\omega_0}}\right)$，且 $a_{\omega_0}=\left(2hm_e\omega_0\right)^{1/2.75}$；若根据质子和

反质子的实验数据给出一种依赖于Z_2的Barkas修正经验公式，则$L_1(\beta)=\frac{L_{low}L_{high}}{L_{low}+L_{high}}$，且$L_{low}$=0.001E，$L_{high}=(1.5/E^{0.4})+45000/Z_2E^{1.6}$；$\omega_0$为共振频率，h为普朗克常数，E为待注入离子的注入能量值。

[0035] 其中，$L_2(\beta)=-y^2[1.202-y^2(1.042-0.855y^2+0.343y^4)]$，且$y=Z_1\alpha/\beta$，α为精细结构常数。

[0036] 作为示例，得到所述注入剂量值的方法包括：基于N个所述注入剂量值之和等于所述总目标浓度，得到公式$\sum_{i=1}^{N}\int_0^d Ni\,f(x-di)=C_1$；同时基于N个所述注入剂量值之和的方差最小化，计算使公式$\int_0^d\left(\sum_{i=1}^{N}Ni\,f(x-di)-C_2\right)^2dx$最小化的值，从而得到N个所述注入剂量值；其中，$C_2=\frac{C_1}{d}$，N为注入剂量值的总个数，d为目标薄膜的厚度，Ni为第i个注入剂量值，di为第i个注入深度峰值点，f(x-di)为注入剂量值为Ni、注入深度峰值点为di时注入浓度与注入深度的高斯分布函数，C_1为总目标浓度。

[0037] 具体过程如下：第i个所述注入能量值对应第i个所述注入深度峰值点，并且第i个所述注入深度峰值点为di，第i个所述注入剂量值为Ni，由于此条件下离子注入的注入浓度与注入深度满足高斯分布，故第i个所述注入剂量值Ni及第i个所述注入深度峰值点di满足高斯分布Ni f(x-di)；

[0038] 基于N个所述注入剂量值之和等于所述总目标浓度，得到公式一$\sum_{i=1}^{N}\int_0^d Ni\,f(x-di)=C_1$；

[0039] 为了使N个所述注入剂量值之和的方差最小化，需使公式二$\int_0^d\left(\sum_{i=1}^{N}Ni\,f(x-di)-C_2\right)^2dx$最小化，而公式二展开后为$F(Ni)=\int_0^d\left(\left(\sum_{i=1}^{N}Ni\,f(x-di)\right)^2-2C_2\sum_{i=1}^{N}Ni\,f(x-di)+C_2^2\right)dx$；之后采用拉格朗日不定乘子法对公式二进行变换以求极值，即对公式三$F(N1,\cdots,Ni,\cdots,N_N)+\lambda\left(\sum_{i=1}^{N}\int_0^d Ni\,f(x-di)-C_1\right)$求极值，也就是分别对Ni和λ求导，并令导数为零，从而得到如下(N+1)个一阶线性方程，而该方程组的系数行列式在绝大多数情况下不为零，存在唯一解，因此可以得到N个所述注入剂量值。

[0040] $$2\sum_{i=1}^{N}Ni\int_0^d f(x-di)dx+(\lambda-2C_2)\int_0^d f(x-di)dx=0$$

[0041] $$\sum_{i=1}^{N}Ni\int_0^d f(x-di)dx-C_1=0$$

[0042] 作为示例，通过N组所述注入条件中的第一组注入条件至第N组注入条件依次控制所述待注入离子注入至所述目标薄膜中，其中第一组注入条件至第N组注入条件中的所述

注入能量值依次递减，以使离子注入依据注入能量值由高至低依次进行，以避免具有高注入能量值的离子注入对具有低注入能量值的离子注入的影响，从而进一步提高所述目标薄膜的纵向掺杂均匀度。

[0043] 下面以向厚度为300nm的Al薄膜中注入Mn离子为例，对本实施例所述方法进行详细说明。

[0044] 首先，提供一Al薄膜，之后于所述Al薄膜的厚度方向上选取3个不同的注入深度峰值点；其中，3个所述注入深度峰值点分别为75nm、150nm及225nm。需要注意的是，所述Al薄膜可以采用磁控溅射方法在硅衬底上制备得到的。

[0045] 之后，根据所述注入能量-注入深度分布函数组分别得到3个与所述注入深度峰值点一一对应的注入能量值，其中，3个所述注入能量值分别为100kev，200kev，300kev。

[0046] 之后通过计算分别得到3个与所述注入能量值一一对应的注入剂量值，其中，3个注入剂量值分别为$5.58\times10^{14}cm^{-2}$、$9.78\times10^{14}cm^{-2}$、$7.37\times10^{14}cm^{-2}$。

[0047] 最后通过三组注入条件控制所述Mn离子注入至所述Al薄膜中，以通过三次离子注入在纵向上的叠加实现Al薄膜的纵向均匀掺杂；其中每次离子注入的浓度分布及叠加后的总浓度分布如图2所示，由图2可知，三次离子注入叠加后的总浓度分布曲线近似为一水平线，也就是说，三次离子注入叠加后Al薄膜纵向上的Mn离子浓度近似均匀一致。

[0048] 综上所述，本发明的一种利用离子注入实现目标薄膜纵向均匀掺杂的方法，通过得到多次离子注入的注入能量值及注入剂量值，并以得到的注入能量值及注入剂量值为每次离子注入的变量对目标薄膜进行多次离子，最终通过多次离子注入的叠加实现所述目标薄膜在纵向上的均匀掺杂。所以，本发明有效克服了现有技术中的种种缺点而具高度产业利用价值。

[0049] 上述实施例仅例示性说明本发明的原理及其功效，而非用于限制本发明。任何熟悉此技术的人士皆可在不违背本发明的精神及范畴下，对上述实施例进行修饰或改变。因此，举凡所属技术领域中具有通常知识者在未脱离本发明所揭示的精神与技术思想下所完成的一切等效修饰或改变，仍应由本发明的权利要求所涵盖。

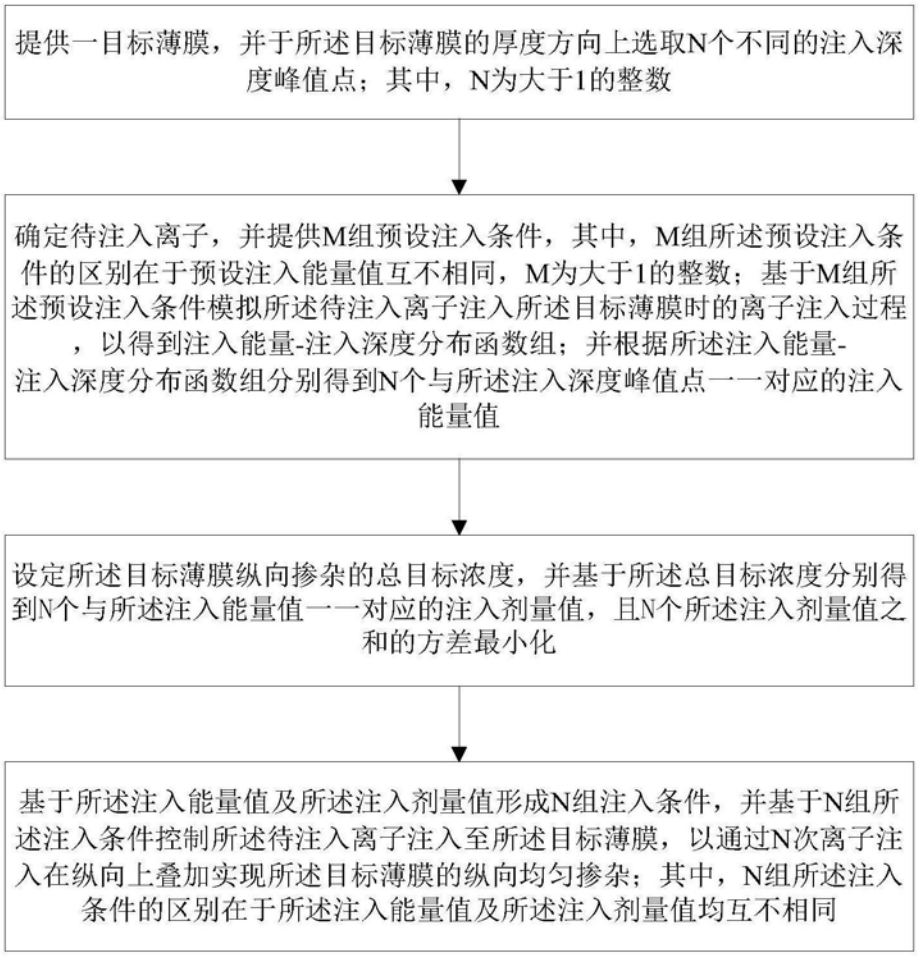

提供一目标薄膜，并于所述目标薄膜的厚度方向上选取N个不同的注入深度峰值点；其中，N为大于1的整数
确定待注入离子，并提供M组预设注入条件，其中，M组所述预设注入条件的区别在于预设注入能量值互不相同，M为大于1的整数；基于M组所述预设注入条件模拟所述待注入离子注入所述目标薄膜时的离子注入过程，以得到注入能量-注入深度分布函数组；并根据所述注入能量-注入深度分布函数组分别得到N个与所述注入深度峰值点一一对应的注入能量值
设定所述目标薄膜纵向掺杂的总目标浓度，并基于所述总目标浓度分别得到N个与所述注入能量值一一对应的注入剂量值，且N个所述注入剂量值之和的方差最小化
基于所述注入能量值及所述注入剂量值形成N组注入条件，并基于N组所述注入条件控制所述待注入离子注入至所述目标薄膜，以通过N次离子注入在纵向上叠加实现所述目标薄膜的纵向均匀掺杂；其中，N组所述注入条件的区别在于所述注入能量值及所述注入剂量值均互不相同

图1

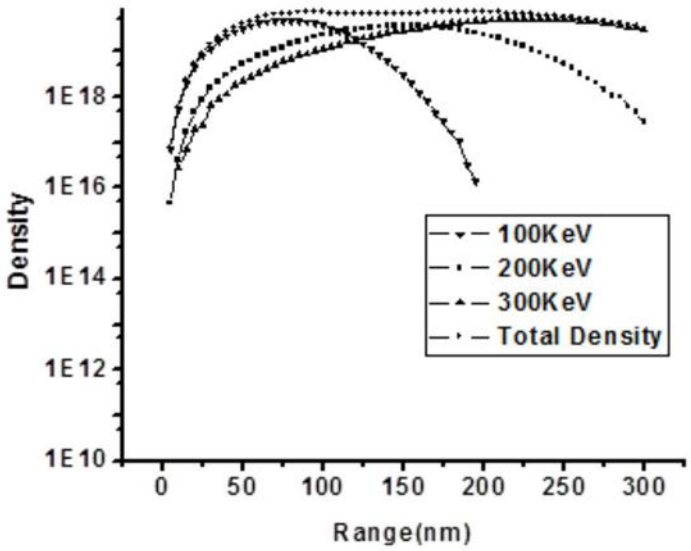

Density
1E18
1E16
1E14
1E12
1E10
0
50
100
150
200
250
300
Range(nm)
100KeV
200KeV
300KeV
Total Density

图2