

基于脉冲激光的椭偏量测装置及相关的光操作方法

技术领域

[0001] 本公开涉及光学量测及检测领域，并且更具体地涉及一种基于脉冲激光的椭偏量测装置及其相关的光操作方法。

背景技术

[0002] 在集成电路制造过程中，为提高芯片良率，需对各工艺环节进行监测，以便在制造完成前及时发现工艺问题并纠正。目前，无接触式的光学量测与检测技术被大规模用于各工艺环节的监测。这其中，椭偏量测系统被大量应用于半导体生产过程中的镀膜工艺监测，以测量薄膜的厚度，光学常数等性质。

发明内容

[0003] 本公开的目的在于提供一种新颖的椭偏量测装置及其相关的光操作方法，其至少可以在脉冲激光的情况下实现椭偏测量。

[0004] 根据本公开的第一方面，其提供一种基于脉冲激光的椭偏量测装置。该椭偏量测装置被配置为能够操作选择地在椭偏量测模式下工作，所述椭偏量测装置包括：脉冲产生模块，其适于在所述椭偏量测模式下产生具有第一预定光强的第一激光脉冲串；调制模块，其被配置成接收所述第一激光脉冲串，并且基于第一调制信号对所述第一激光脉冲串的周期性调制，以获得经调制的第一激光脉冲串，其中所述经调制的第一激光脉冲串的每个周期内至少包含两个激光脉冲；入射模块，其至少包括起偏器，并且被配置用于将至少经过起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串入射至样品；反射模块，其至少包括检偏器，并且被配置用于至少对从所述样品反射或衍射的光信号进行检偏处理，以获得经处理的光信号；第一检测器，其被布置在所述反射模块的下游，以便检测所述经处理的光信号并输出相应的第一检测信号；锁相放大模块，其被配置成接收所述第一检测信号，并且基于所述第一调制信号作为参考信号，以通过对所述第一检测信号的锁相放大，来产生经噪声处理的第一检测信号；以及控制和处理模块，其被配置成基于所述经噪声处理的第一检测信号，获得与所述样品的特性相关的信息。

[0005] 容易理解，利用本公开的椭偏量测装置，其可以有利地在脉冲激光的情况下实现椭偏量测。而且，由于脉冲激光还可以用于脉冲清洗，这使得本公开的椭偏量测装置兼具椭偏量测模式和脉冲清洗模式成为可能。

[0006] 在一些实施例中，该椭偏量测装置还被配置为能够操作选择地在脉冲清洗模式工作；

其中所述脉冲产生模块适于在所述脉冲清洗模式下产生具有第二预定光强的第二激光脉冲串，其中所述第二激光脉冲串被布置成经由所述调制模块和所述入射模块而入射至所述样品，以用于对所述样品的表面的空气分子污染层的清洗。

[0007] 在一些实施例中，所述脉冲产生模块包括脉冲激光器和光强控制器，其中所述光强控制器被布置成能够操作选择地对脉冲激光器所产生的激光脉冲串的光强进行控制，以产生所述第一预定光强的第一激光脉冲串或所述第二预定光强的第二激光脉冲串。

[0008] 在一些实施例中，在所述脉冲清洗模式下，所述调制模块还被配置成基于第二调制信号对所述第二激光脉冲串进行调制，以获得经调制的第二激光脉冲串，所述经调制的第二激光脉冲串经由所述入射模块而入射至所述样品，以用于对所述样品的表面的空气分子污染层进行清洗。

[0009] 在一些实施例中，所述第一调制信号是周期性的方波信号，所述第二调制信号是单个方波信号。

[0010] 在一些实施例中，所述光强控制器由从以下各项中选择：一组安装在可切换结构上的中性滤光片组；一组安装在可连续变换位置的连续变化中性滤光片组；起偏器与 $\lambda/2$ 波片的组合，其中所述起偏器与 $\lambda/2$ 波片之一是可旋转的；和电光调制器与起偏器的组合。

[0011] 在一些实施例中，所述调制模块由从以下各项中选择：电光调制器以及起偏器的组合；和斩波器。

[0012] 在一些实施例中，所述调制频率小于脉冲激光重频的四分之一。

[0013] 在一些实施例中，所述入射模块还包括分光器，以用于从入射到样品的光束中分出参考光；所述椭圆偏量测装置还包括第二检测器，所述第二检测器适于检测参考光，并输出第二检测信号。

[0014] 在一些实施例中，所述锁相放大模块还配置成接收所述第二检测信号，并且基于所述第一调制信号作为参考信号，以实现所述第二检测信号的噪声处理，并输出经噪声处理的第二检测信号。

[0015] 在一些实施例中，所述控制和处理模块还被配置成：基于所述经噪声处理的第二检测信号，对所述经噪声处理的第一检测信号进行校正。

[0016] 在一些实施例中，所述第一调制信号的频率大于所述第一探测器和所述第二探测器的信号采集频率。

[0017] 在一些实施例中，所述入射模块和所述反射模块中的至少一者还包括相位补偿器，所述相位补偿器被布置用于对相应光束的偏振分量进行相位延迟。

[0018] 在一些实施例中，其中所述起偏器、所述检偏器和所述相位补偿器中的至少一者是可操作旋转地。

[0019] 在一些实施例中，所述控制和处理模块还被配置为对所述起偏器、所述检偏器和所述相位补偿器中的至少一者的旋转进行控制。

[0020] 根据本公开的第二方面，提供了一种基于脉冲激光的光操作方法，该光操作方法包括在椭圆偏量测模式下的第一操作方法，所述第一操作方法包括：产生具有第一预定光强的第一激光脉冲串；基于第一调制信号对所述第一激光脉冲串进行周期性调制，来获得经调制的第一激光脉冲串，其中所述经调制的第一激光脉冲串的每个周期内至少包含两个激光脉冲；至少使用起偏器对经调制的第一激光脉冲串进行起偏处理，并将经过起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串入射至样品；至少使用检偏器对从所述样品反射或衍射的光信号进行检偏处理，以获得经处理的光信号；检测所述经处理的光信号并输出相应的第一检测信号；基于所述第一调制信号作为参考信号，通过对所述第一检测信号进行锁相放大，来产生经噪声处理的第一检测信号；以及基于所述经噪声处理的第一检测信号，获得与所述样品的特性相关的信息。

[0021] 在一些实施例中，所述光操作方法还包括在脉冲清洗模式下的第二操作方法，其中所述第二操作方法包括：产生具有第二预定光强的第二激光脉冲串；使用第二调制信号对所述第二激光脉冲串进行调制，以获得经调制的第二激光脉冲串；将所述经调制的所述第二激光脉冲串入射至样品，以对所述样品的表面的空气分子污染层进行清洗。

[0022] 在一些实施例中，该光操作方法还包括：操作地选择所述椭圆偏量测模式和所述脉冲清洗模式中的一者。

[0023] 在一些实施例中，所述操作地选择椭圆偏量测模式和脉冲清洗模式中的一者包括：调节光强控制器，以控制从脉冲激光器产生的激光脉冲串的光强。

[0024] 在一些实施例中，该光操作方法还包括：对所述经过起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串进行分光，以产生参考光；对所述参考光进行检测，以输出第二检测信号；以及基于所述第一调制信号作为参考信号，通过对所述第二检测信号进行锁相放大，来产生经噪声处理的第二检测信号；以及基于所述经噪声处理的第二检测信号，实现对所述经噪声处理的第一检测信号进行校正。

[0025] 在一些实施例中，所述至少使用起偏器对经调制的第一激光脉冲串进行起偏处理包括：使用第一相位补偿器，使经起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串的两个偏振分量之间产生相位延迟，并且使所述起偏器和所述第一相位补偿器之一在第一检测器检测时旋转；

和/或所述至少使用检偏器对从所述样品反射或衍射的光信号进行检偏处理包括：使用第二相位补偿器，使所述光信号的两个偏振分量之间产生相位延迟，并且使所述检偏器和所述第二相位补偿器之一在第一检测器检测时旋转。

[0026] 还应当理解，发明内容部分中所描述的内容并非旨在限定本公开的实施例的关键或重要特征，亦非用于限制本公开的范围。本公开实施例的其它特征将通过以下的描述变得容易理解。

附图说明

[0027] 结合附图并参考以下详细说明，本公开各实施例的上述和其他特征、优点及方面将变得更加明显。在附图中，相同或相似的附图标记表示相同或相似的元素。

[0028] 图 1 示出了根据本公开的示例实施例的基于脉冲激光的椭偏量测装置的示意性结构图。

[0029] 图 2 示出了根据本公开的示例实施例的各个信号的图示。

[0030] 图 3 示出了根据本公开的示例实施例的基于脉冲激光的光操作方法的图示。

[0031] 图 4 示出了根据本公开的示例实施例的基于脉冲激光的光操作方法中的第一操作方法的流程图。

[0032] 图 5 示出了根据本公开的示例实施例的基于脉冲激光的光操作方法中的第二操作方法的流程图。

具体实施方式

[0033] 下面将参照附图更详细地描述本公开的实施例。虽然附图中显示了本公开的某些实施例，然而应当理解的是，本公开可以通过各种形式来实现，而且不应该被解释为限于这里阐述的实施例，相反提供这些实施例是为了更加透彻和完整地理解本公开。应当理解的是，本公开的附图及实施例仅用于示例性作用，并非用于限制本公开的保护范围。

[0034] 如前所述的，椭偏量测系统被大量应用于半导体生产过程中的镀膜工艺监测，以测量薄膜的厚度，光学常数等性质。但是，随着半导体工艺的持续发展，在一些场景中，所用薄膜的厚度已经达到 1 纳米或者亚纳米级别。那么相应的椭偏量测设备的测量性能也需要提高，比如对于厚度为 1 纳米的薄膜，其测量精度需要小于 0.003 纳米。

[0035] 对上述这种情况，通常的宽光谱型椭偏量测装置（Broadband Spectroscopy Ellipsometry）已经难以满足要求，需要使用基于单波长激光的单波长椭偏量测装置。例如，专利申请号 CN114427834A 已经描述了一种类型的基于单波长激光的椭偏量测装置。为了方便理解，该申请的全部内容通过引用而并入本文。

[0036] 即便如此，在使用椭偏量测装置时还需要消除空气分子污染（即 Airborne Molecular Contamination, AMC），因为即使在洁净室环境中，空气中还是会包含水分子、碳氢化合物等，它们会沉降到薄膜表面，并形成污染层，而污染层的厚度会随着薄膜暴露在环境中的时间而增加，即使在机台内部也会有污染层形成，达到 0.1 纳米甚至以上。这样，薄膜厚度的量测结果就会受到影响，产生误测误报。

[0037] 然而，包括专利申请号 CN114427834A 在内的现有的椭偏量测装置大部分都是基于连续激光的，而没有使用脉冲激光，这是因为难以解决使用脉冲激光量测时的信噪比问题。这种方案的缺点在于需要额外的激光清洗装置，即需要使用两种独立的光路系统，从而会使得装配流程、工作时序变得复杂，也使得系统需要额外的一些诊断和监测程序。

[0038] 为此，本公开设计了一种基于脉冲激光的椭偏量测装置，其特点在于：该装置可以使用脉冲激光来实现单波长的椭偏量测。此外，由于使用脉冲激光，该装置还可以兼具 AMC 层的清洗功能，而不需要配置额外的清洗模块。

[0039] 图 1 示出了根据本公开的示例实施例的基于脉冲激光的椭偏量测装置的示意性结构图。

[0040] 将会理解，本公开的椭偏量测装置 100 可以被配置成能够操作选择地在椭偏量测模式或脉冲清洗模式下工作。在这种情况下，椭偏量测装置 100 可以被操作选择地从椭偏量测模式切换至脉冲清洗模式，或者从脉冲清洗模式切换至椭偏量测模式。然而，将会理解，尽管本公开的椭偏量测装置 100 被设计成兼具椭偏量测模式或脉冲清洗模式这两者，但在一些特别的实施例中，椭偏量测装置 100 仅具有椭偏量测模式或脉冲清洗模式两者之一的功能也是可行的。

[0041] 仅作为示例，如图 1 所示，该椭偏量测装置 100 可以主要包括脉冲产生模块 10、调制模块 20、入射模块 30、反射模块 40、第一检测器 50、锁相放大模块 60 以及控制和处理模块 70。

[0042] 具体地，脉冲产生模块 10 可以被配置成在椭偏量测模式下产生具有第一预定光强的第一激光脉冲串，或者在脉冲清洗模式下产生具有第二预定光强的第二激光脉冲串。

[0043] 典型地，脉冲产生模块 10 可以例如包括脉冲激光器 101 和光强控制器 102。

[0044] 脉冲激光器 10 的作用在于产生预定波长的激光脉冲。仅作为示例，该预定波长可以例如为 355nm、535nm 和 632nm 的单波长；脉冲宽度可以例如是纳秒、飞秒或皮秒级别。特别地，在一些实施例中，脉冲激光器的重复频率可以大于 1MHz，这可以有助于后续的锁相放大模块 60 的工作。

[0045] 光强控制器 102 的作用在于对脉冲激光器 101 所产生的激光脉冲的光强进行控制。典型地，光强控制器 102 是衰减器。在一些实施例中，光强控制器 102 可以由从以下各项中选择：一组安装在可切换结构上的中性滤光片组；一组安装在可连续变换位置的连续变化中性滤光片组；起偏器与 $\lambda/2$ 波片的组合，其中所述起偏器与 $\lambda/2$ 波片之一是可旋转的；和电光调制器与起偏器的组合。仅作为示例，上述可切换结构、连续变化中性滤光片组、或者起偏器与 $\lambda/2$ 波片之一的旋转例如可以通过马达来控制。

[0046] 取决于椭偏量测装置 100 所旨在要工作的模式，即椭偏量测模式或脉冲清洗模式，可以操作光强控制器 102 以使得脉冲产生模块 10 所输出的光强处于第一预定光强还是第二预定光强。一般而言，第二预定光强通常要大于第一预定光强，其可以更为有利地对所述样品的表面的空气分子污染层进行清洗。将会理解，一旦操作光强控制器 102 以使得脉冲产生模块 10 所输出的光强处于第一预定光强，则可以视为将椭偏量测装置 100 置于椭偏量测模式，而一旦操作光强控制器 102 以使得脉冲产生模块 10 所输出的光强处于第二预定光强，则可以视为将椭偏量测装置 100 置于脉冲清洗模式。除了上述椭偏量测模式和脉冲清洗模式之外，在一些实施例中，本公开的椭偏量测装置 100 还可以被配置在测试模式下操作，在该测试模式下，可以调节光强控制器 102，来对脉冲产生模块 10 所输出的光强进行优化，从而选择出适用于椭偏量测模式的第一预定光强和适用于脉冲清洗模式的第二预定光强。

[0047] 调制模块 20 可以被布置在脉冲产生模块 10 的下游，以便接收并调制来自脉冲产生模块 10 所输出的激光脉冲串。如参见后面的描述，将会理解，调制模块 20 的作用在于结合锁相放大模块 60 以实现从样品反射或衍射的检测光信号的去噪。仅作为示例，在一些实施例中，调制模块 20 可以例如从以下各项中选择：电光调制器以及起偏器的组合，以及斩波器。

[0048] 在椭偏量测模式，调制模块 20 可以被配置成：接收第一激光脉冲串，并且基于第一调制信号对所述第一激光脉冲串的周期性调制，以获得经调制的第一激光脉冲串。在一些实施例中，第一调制信号可以是调制模块 20 自己生成的。而在又一些实施例中，调制模块 20 可以从外部（例如，控制和处理模块 70）接收第一调制信号。特别地，第一调制信号的调制频率需要小于激光脉冲重频的四分之一，以保证所述经调制的第一激光脉冲串的每个周期内至少包含两个激光脉冲。又特别地，第一调制信号的调制频率还需要大于后续将要描述的第一检测器和第二检测器的采样频率，以保证信号采样的完整性以及可靠性。仅作为示例，第一调制信号可以例如是周期性的方波信号。

[0049] 而在脉冲清洗模式，调制模块 20 可以被配置成：接收第二激光脉冲串，并且基于第

二调制信号对所述第二激光脉冲串的周期性调制，以获得经调制的第二激光脉冲串。随后，该经调制的第二激光脉冲串可以经由所述入射模块而入射至所述样品，以用于对所述样品的表面的空气分子污染层进行清洗。在一些实施例中，上述第二调制信号可以是单个的方波信号。可以理解，可以通过调节单个的方波信号的宽度来控制将要清洗所述样品的表面的空气分子污染层进行清洗的时间，从而实现清洗的目的。

[0050] 还将会理解，不管是椭偏量测模式，还是脉冲清洗模式，其共用入射光路以及入射光路上的模块，这使得本公开的椭偏量测模式和脉冲清洗模式之间的切换变得方便。还将会理解，在脉冲清洗模式下，入射模块 30 仅起到入射通路的作用，而反射光路是不必要的，因此，可以在该模式下关闭反射光路或者反射光路上的模块，并且下面将主要以椭偏量测模式来描述椭偏量测装置中的其他模块的功能和配置。

[0051] 在一些实施例中，可以在脉冲产生模块 10 和调制模块 20 之前布置可调节的反射镜 103，以方便调节入射到样品的光束的指向。本领域技术人员容易理解，该反射镜 103 也可以被布置在入射到样品上的光路的其他位置。

[0052] 入射模块 30 可以至少包括起偏器 105，并且被配置用于将至少经过起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串入射至样品。在一些实施例中，除了起偏器 105 之外，入射模块 30 还可以可选地包括第一相位补偿器 107 和第一物镜 108 中的一者或多者。特别地，起偏器 105、第一相位补偿器 107 和第一物镜 108 可以沿着入射光路依次布置。

[0053] 与此相应地，反射模块 40 可以至少包括检偏器 111，并且被配置用于至少对从所述样品反射或衍射的光信号进行检偏处理，以获得经处理的光信号。在一些实施例中，除了检偏器 111 之外，反射模块 30 还可以可选地包括第二物镜 109 和第二相位补偿器 110 中的一者或多者。特别地，第二物镜 109、第二相位补偿器 110 和检偏器 111 可以沿着从样品反射的反射光路依次布置。

[0054] 容易理解：上述起偏器 105 和检偏器 111 的作用在于限定从其出射的光的偏振方向为某一确定的线偏振方向；第一相位补偿器 107 和第二相位补偿器 110 的作用在于使得入射到其上的光的两个偏振分量之间产生相位延迟量，该延迟量与其方位角有关，如果旋转相位补偿器，则从其出射的光的偏振分量之间的延迟量会周期性地变化，即出射光的偏振态发生周期性变化；第一物镜 108 的作用在于将光束会聚成一个小光斑至待测样品上，而第二物镜 109 的作用在于使得从样品上反射或衍射回来的光准直。

[0055] 应当理解，上述入射模块 30 和反射模块 40 两者的上述具体布置是椭偏量测装置的典型配置，并且取决于其具体的配置，旋椭偏量测装置可以具有不同椭偏测量构型。

[0056] 例如，在入射模块和反射模块的关键部件中包含起偏器 105、第一物镜 108、第二物镜 109、检偏器 111 和第一检测器 112 的实施例中，如果在测量过程中，起偏器 105 或检偏器 111 旋转，则该椭圆量测装置为 P_RSA 或 PSA_R 椭圆构型，其中 P 代表起偏器、S 代表样品、A 代表检偏器、R 代表旋转。

[0057] 又例如，在入射模块和反射模块的关键部件中包含起偏器 105、第一相位补偿器 107 或第二相位补偿器 110、第一物镜 108、第二物镜 109、检偏器 111 和第一检测器 112 的实施例中，如果在测量过程中，第一相位补偿器 107 或第二相位补偿器 110 旋转，则该椭圆量测装置为 PC_RSA 或 PSC_RA 椭圆构型。

[0058] 又例如，在入射模块和反射模块的关键部件中包含起偏器 105、第一相位补偿器 107、第一物镜 108、第二物镜 109、第二相位补偿器 110、检偏器 111 和第一检测器 112 的实施例中，如果在测量过程中，第一相位补偿器 107 和第二相位补偿器 110 都旋转，即该椭圆量测装置为 PC_RSC_RA 椭圆构型，也称为穆勒矩阵型椭圆仪。

[0059] 此外，在上述入射模块 30 和反射模块 40 中，还可以针对起偏器 105 和检偏器 111 中分别配置光收集器 113，以便收集未从起偏器 105 或检偏器 111 通过的光，即泄漏光或垃圾光。

[0060] 第一检测器 50 被布置在反射模块 40 的下游，以便检测所述经处理的光信号并输出相应的第一检测信号。仅作为示例，第一检测器可以是 CCD、CMOS 传感器，或者诸如光电管等一切可以用来探测光信号的传感器。

[0061] 在此，本领域技术人员将会理解，由于使用激光脉冲作为入射到样品的光束，则第一检测器 50 所检测到的来自样品的光信号将表现出低的信噪比。

[0062] 为了实现高的信噪比，本公开特别地设计了锁相放大模块 60，该锁相放大模块 60 被配置成接收所述第一检测信号，并且基于所述第一调制信号作为参考信号，以通过对所述第一检测信号的锁相放大，来产生经噪声处理的第一检测信号。在一些实施例中，锁相放大模块 60 还可以耦接至调制模块 20，以接收上述第一调制信号作为参考信号。

[0063] 随后，控制和处理模块 70 可以被配置成基于所述经噪声处理的第一检测信号，来获得与所述样品的特性相关的信息。具体地，控制和处理模块 70 可以将上述经噪声处理的第一检测信号转换为傅里叶系数，然后计算与待测样品相关的参数信息。这些参数信息可以包括但不限于诸如薄膜的厚度、光学常数等。

[0064] 此外，控制和处理模块 70 还可以被配置成控制椭圆量测装置中的相关硬件的工作模式、触发以及参数调节，以便实现在椭圆量测模式和脉冲清洗模式下的正常工作。譬如，这

些相关硬件可以包括但不限于：脉冲产生模块 10 中的脉冲激光器 101 和光腔控制器 102，入射模块 30 中的起偏器 105 和第一相位补偿器 107，反射模块 40 中的第二相位补偿器 110 以及检偏器 111，第一检测器 50，锁相放大模块 60，等。

[0065] 在一些实施例中，控制和处理模块 70 可以进一步由信号采集和处理模块 116 和控制模块 117 组成。该信号采集和处理模块 116 可以用于对从锁相放大模块 60 输出的上述经噪声处理的第一检测信号进行进一步的信号采集和处理，以将上述经噪声处理的第一检测信号转换为傅里叶系数，然后计算与待测样品相关的参数信息。而控制模块 117 可以用于控制上述各个硬件的工作模式、触发以及参数调节，以便获得最终的数据。

[0066] 譬如，控制模块 117 可以控制光强控制器 10 中的滤光片的切换（例如，经由可切换机构）或电光调制器的电压，以实现脉冲产生模块所输出的光强的控制。又譬如，控制模块 117 可以在不同的椭圆构型布置中控制起偏器 105、第一相位补偿器 107、第二相位补偿器 110 以及检偏器 111 中的相应器件的旋转（例如，这可以经由对这些器件的相关旋转马达的控制实现），以实现在所述相应器件的不同方位角下的来自样品的光信号的检测，与此同时，控制模块 117 还可以同步地控制第一检测器 50、锁相放大模块 60 和信号采集与处理模块 116，以实现这些器件的同步触发。

[0067] 为了更准确的获得检测结果，在一些实施例中，入射模块 30 还可以包括分光器 106，以用于从入射到样品的光束中分出参考光。如后面将要描述的，该参考光的作用在于对入射到样品的测量光的光强波动进行校正。

[0068] 在一些实施例中，该分光器 106 可以被布置在起偏器 105 之后，这对于使得入射到样品的测量光和参考光为来自同一方向的线偏振光是有利的。进一步地，分光器 106 的分光面可以被布置成与起偏器 105 的出光偏振方向平行或垂直，这有助于消除分光器对入射光偏振态的改变，也即消除了分光器偏振干扰，从而保持起偏器原有出光的偏振方向，保证了系统测量精度。需要说明的是，分光器的分光面与起偏器的出光偏振方向并非平行或垂直也是可能的，这可以后续通过校正来消除分光器的偏振干扰。

[0069] 椭圆量测装置 100 还可以包括第二检测器 114，其可以用于检测该参考光，并输出第二检测信号。进一步地，该第二检测信号将会被输出至锁相放大模块 60，以利用锁相放大的原理进行噪声处理。具体地，类似于第一检测信号，可以同样使用上述第一调制信号作为参考信号。更进一步地，该控制和处理模块 70 还可以被配置成：基于所述经噪声处理的第二检测信号，对所述经噪声处理的第一检测信号进行校正。

[0070] 将会理解，由于参考光和测量光来自于同一光源的光（更特别地，它们可以是来自

同一偏振方向的偏振光)，因此，以上述校正方式，能够有效地校正第一检测信号中源于光源的强度波动，这提高了系统测量的稳定性，从而实现了具备超高稳定度的椭圆偏测量系统。

[0071] 此外，为了实现精密的数据同步，本公开还设计了双通道数据时钟同步的方案，也即所述第一探测器和所述第二探测器采集到的数据有同步的时钟。譬如，在一些实施例中，第一探测器和第二探测器可以共用上述控制和处理模块 70 中的时钟源，以便同步采集数据，也即实现了针对测量光和参考光的同步采集。进一步地，在又一些实施例中，还可以例如使用同一个时钟信号来同步锁相放大模块 60 和信号采集与处理模块 116 的操作。

[0072] 需要说明的是，本公开并不限于上述同步的方案，任何用于同步上述起偏器 105、第一相位补偿器 107、第二补偿器 110 和检偏器 111 中的一者、所述第一探测器和所述第二探测器的数据采集，以及同步锁相放大模块 60 和信号采集与处理模块 116 两者的操作的方案，均应包含在本申请的保护范围内。

[0073] 为了更好地理解本公开的相关器件所采用或输出的信号，图 2 示出了根据本公开的示例实施例的各个信号的图示。

[0074] 以上已经详细地描述了根据本公开的示例实施例的椭圆偏量测装置中的各个部件以及具体结构，下面将参照图 3 至图 5 来简要描述根据本公开的示例实施例的基于脉冲激光的光操作方法。应当理解，本公开的光操作方法是与上面的椭圆偏量测装置相对应的，因此，本公开的光操作方法中的相关方法步骤可以通过上面的椭圆偏量测装置的相应模块来执行。

[0075] 具体地，如图 3 所示，本公开的光操作方法 300 可以包括在椭圆偏量测模式下的第一操作方法 310 以及在脉冲清洗模式下的第二操作方法 320。在一些实施例中，该方法 300 可以进一步包括选择椭圆偏量测模式以及脉冲清洗模式中的任一模式。在又一些实施例中，该方法 300 可以进一步包括任意地在椭圆偏量测模式以及脉冲清洗模式之间进行切换。特别地，上述选择或切换的操作可以通过调节上述脉冲产生模块中的光强控制器来进行。一旦调节到椭圆偏量测模式或脉冲清洗模式所对应的光强，则表示可以进行相应模式的操作。

[0076] 具体地，如图 4 所示，第一操作方法 310 可以包括：

在框 311，产生具有第一预定光强的第一激光脉冲串。在一些实施例中，该步骤可以通过上面的脉冲产生模块 10 来执行。特别地，该脉冲产生模块 10 可以包括脉冲激光器和光强调制器，其中可以利用光强调制器来调制脉冲激光器所产生的光强。

[0077] 在框 312，基于第一调制信号对所述第一激光脉冲串进行周期性调制，来获得经调制的第一激光脉冲串。

[0078] 在一些实施例中，可以通过调制模块 20 来对所述第一激光脉冲串进行周期性调制，

来获得经调制的第一激光脉冲串。在又一些实施例中，所述经调制的第一激光脉冲串的每个周期内至少包含两个激光脉冲。在又一些实施例中，上述第一调制信号可以来自调制模块 20 自身，或者从外部接收。在又一些实施例中，第一调制信号的调制频率需要小于激光脉冲重频的四分之一，以保证所述经调制的第一激光脉冲串的每个周期内至少包含两个激光脉冲。此外，第一调制信号的调制频率还需要大于前面描述的第一检测器和第二检测器的采样频率，以保证信号采样的完整性以及可靠性。

[0079] 在框 313，至少使用起偏器对经调制的第一激光脉冲串进行起偏处理，并将经过起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串入射至样品。作为示例，该步骤可以在包括上述起偏器的入射模块 30 中执行。

[0080] 相应地，在框 314，至少使用检偏器对从所述样品反射或衍射的光信号进行检偏处理，以获得经处理的光信号。作为示例，该步骤可以在包括上述检偏器的反射模块 40 中执行。

[0081] 取决于椭圆量测装置 100 的不同椭圆构型，可以在入射模块 30 和反射模块 40 中进行不同的配置。例如，该不同的椭圆构型可以包括但不限于： PC_RSA 、 PSC_RA 或 PC_RSC_RA 。

[0082] 在一些实施例中，所述至少使用起偏器对经调制的第一激光脉冲串进行起偏处理可以包括：使用第一相位补偿器，使经起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串的两个偏振分量之间产生相位延迟，并且使所述起偏器和所述第一相位补偿器之一在第一检测器检测时旋转。

[0083] 在又一些实施例中，所述至少使用检偏器对从所述样品反射或衍射的光信号进行检偏处理可以包括：使用第二相位补偿器，使所述光信号的两个偏振分量之间产生相位延迟，并且使所述检偏器和所述第二相位补偿器之一在第一检测器检测时旋转。

[0084] 随后，在框 315，检测所述经处理的光信号并输出相应的第一检测信号。作为示例，该步骤可以通过上述第一检测器 50 来执行。该第一检测器 50 可以例如是 CCD、CMOS 等的传感器。

[0085] 接着，在框 316，基于所述第一调制信号作为参考信号，通过对所述第一检测信号进行锁相放大，来产生经噪声处理的第一检测信号。作为示例，该步骤可以通过上面的锁相放大模块 60 来执行。可以理解，锁相放大模块 60 可以有效地去除所检测信号中的高频噪声，从而获得更高信噪比的经噪声处理的第一检测信号。

[0086] 最后，在框 317，。作为示例，该步骤可以例如在上面的控制和处理模块 70 中的信号采集和处理模块 116 中执行。上述样品的特性相关的信息包括但不限于：诸如薄膜的厚度、光学常数等。

[0087] 此外，在基于所述经噪声处理的第一检测信号，获得与所述样品的特性相关的信息一些实施例中，第一操作方法 320 还可以包括：对所述经过起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串进行分光，以产生参考光；对所述参考光进行检测，以输出第二检测信号；以及基于所述第一调制信号作为参考信号，通过对所述第二检测信号进行锁相放大，来产生经噪声处理的第二检测信号；以及基于所述经噪声处理的第二检测信号，实现对所述经噪声处理的第一检测信号进行校正。

[0088] 应当理解，上述分光的步骤可以通过上面的分光器来进行；对所述参考光进行检测可以通过上述第二检测器来进行；对所述第二检测信号进行锁相放大的操作可以通过上述锁相放大模块来进行；而对所述经噪声处理的第一检测信号进行校正可以通过上述控制和处理模块中的信号采集与处理模块来进行。

[0089] 如图 5 所示，第二操作方法 320 可以包括：

在框 321，产生具有第二预定光强的第二激光脉冲串。

[0090] 在一些实施例中，该步骤可以通过上面的脉冲产生模块 10 来产生。特别地，该脉冲产生模块 10 可以包括脉冲激光器和光强调制器，其中可以利用光强调制器来调制脉冲激光器所产生的光强，以产生具有第二预定光强的第二激光脉冲串。

[0091] 在框 322，使用第二调制信号对所述第二激光脉冲串进行调制，以获得经调制的第二激光脉冲串。

[0092] 在一些实施例中，该步骤可以通过上面的调制模块 20 来执行。类似地，第二调制信号可以由上面的调制模块 20 自身产生，或者从外部接收。

[0093] 接着，在框 333，将所述经调制的所述第二激光脉冲串入射至样品，以对所述样品的表面的空气分子污染层进行清洗。

[0094] 在一些实施例中，该步骤可以例如通过入射模块 30 来执行。以这种方式，容易理解，这意味着椭偏量测模式和脉冲冲洗模式两者可以共用入射光路，这使得椭偏量测模式和脉冲冲洗模式两者的切换变得简单，并且使得整个椭偏量测装置的成本得以降低。

[0095] 以上已经详细地描述了基于脉冲激光的椭偏量测装置以及相关的光操作方法的各个实施例。将会理解，本公开的方案使用了脉冲激光器实现椭偏量测，同时使用了锁相放大模块来实现噪声抑制，这提高了椭偏量测的性能。此外，本公开还使用了精确同步参考光、双通道时钟同步、分光器偏振干扰等技术，这进一步提高了椭偏量测的性能。容易理解，本公开的方案可以容易地满足先进工艺节点的薄膜量测需求。此外，还可以理解，由于使用了脉冲激光器，本装置可以在不需要额外光路的情况下，实现激光清洗的功能，并且系统方便简

单。

[0096] 此外，还已经详细地描述本公开的基于脉冲激光的椭偏量测方法或光操作方法的流程。将会理解，上面描述的流程仅仅是示例。尽管说明书中以特定的顺序描述了方法的步骤，但是这并非要求或者暗示必须按照该特定顺序来执行这些操作，或是必须执行全部所示的操作才能实现期望的结果，相反，描绘的步骤可以改变执行顺序。附加地或备选地，可以省略某些步骤，将多个步骤合并为一个步骤执行，和/或将一个步骤分解为多个步骤执行。

[0097] 虽然已经在附图和前述描述中详细说明和描述了本发明，但这些说明和描述应被认为是说明性的或示例性的而不是限制性的；本发明不限于所公开的实施例。本领域技术人员在实践所请求保护的发明中，通过研究附图、公开和所附权利要求可以理解并且实践所公开的实施例的其它变体。

[0098] 在权利要求中，词语“包括”并不排除其它元件，并且不定冠词“一”或“一个”不排除多个。单个元件或其它单元可以满足在权利要求中阐述的多个项目的功能。仅在互不相同的实施例或从属权利要求中记载某些特征的仅有事实，并不意味着不能有利地使用这些特征的组合。在不脱离本申请的精神和范围的情况下，本申请的保护范围涵盖在各个实施例或从属权利要求中记载的各个特征任何可能组合。

[0099] 此外，在权利要求中的任何参考标记不应被理解为限制本发明的范围。

权利要求书

1. 一种基于脉冲激光的椭偏量测装置，其特征在于，所述椭偏量测装置被配置为能够操作选择地在椭偏量测模式下工作，所述椭偏量测装置包括：

脉冲产生模块（10），其适于在所述椭偏量测模式下产生具有第一预定光强的第一激光脉冲串；

调制模块（20），其被配置成接收所述第一激光脉冲串，并且基于第一调制信号对所述第一激光脉冲串的周期性调制，以获得经调制的第一激光脉冲串，其中所述第一调制信号的调制频率小于激光脉冲重频的四分之一；

入射模块（30），其至少包括起偏器（105），并且被配置用于将至少经过起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串入射至样品；

反射模块（40），其至少包括检偏器（111），并且被配置用于至少对从所述样品反射或衍射的光信号进行检偏处理，以获得经处理的光信号；

第一检测器（50），其被布置在所述反射模块（40）的下游，以便检测所述经处理的光信号并输出相应的第一检测信号；

锁相放大模块（60），其被配置成接收所述第一检测信号，并且基于所述第一调制信号作为参考信号，以通过对所述第一检测信号的锁相放大，来产生经噪声处理的第一检测信号；以及

控制和处理模块（70），其被配置成基于所述经噪声处理的第一检测信号，获得与所述样品的特性相关的信息；

其中所述第一调制信号的调制频率大于所述第一检测器的信号采集频率。

2. 根据权利要求 1 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述椭偏量测装置还被配置为能够操作选择地在脉冲清洗模式工作；

其中所述脉冲产生模块（10）适于在所述脉冲清洗模式下产生具有第二预定光强的第二激光脉冲串，

其中所述第二激光脉冲串被布置成经由所述调制模块（20）、所述入射模块（30）而入射至所述样品，以便对所述样品的表面的空气分子污染层进行清洗。

3. 根据权利要求 2 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述脉冲产生模块（10）包括脉冲激光器（101）和光强控制器（102），

其中所述光强控制器（102）被布置成能够操作选择地对脉冲激光器（101）所产生的激光脉冲串的光强进行控制，以产生具有所述第一预定光强的所述第一激光脉冲串或具有所述第二

预定光强的所述第二激光脉冲串。

4. 根据权利要求 3 所述的椭偏量测装置，其特征在于，在所述脉冲清洗模式下，所述调制模块（20）还被配置成基于第二调制信号对所述第二激光脉冲串进行调制，以获得经调制的第二激光脉冲串，所述经调制的第二激光脉冲串经由所述入射模块（30）而入射至所述样品，以便对所述样品的表面的空气分子污染层进行清洗。

5. 根据权利要求 4 所述的椭偏量测装置，其特征在于，
所述第一调制信号是周期性的方波信号，所述第二调制信号是单个方波信号。

6. 根据权利要求 4 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述光强控制器（102）包括一组安装在可切换结构上的中性滤光片组。

7. 根据权利要求 4 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述光强控制器（102）包括一组安装在可连续变换位置的连续变化中性滤光片组。

8. 根据权利要求 4 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述光强控制器（102）包括起偏器与 $\lambda/2$ 波片的组合，其中所述起偏器与所述 $\lambda/2$ 波片之一是可旋转的。

9. 根据权利要求 4 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述光强控制器（102）包括电光调制器与起偏器的组合。

10. 根据权利要求 6 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述调制模块（20）由从以下各项中选择：

电光调制器以及起偏器的组合；和

斩波器。

11. 根据权利要求 6 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述入射模块（30）还包括分光器（106），以用于从入射到样品的光束中分出参考光；

所述椭偏量测装置还包括第二检测器（114），所述第二检测器适于检测参考光，并输出第二检测信号。

12. 根据权利要求 11 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述锁相放大模块（60）还配置成接收所述第二检测信号，并且基于所述第一调制信号作为参考信号，以实现所述第二检测信号的噪声处理，并输出经噪声处理的第二检测信号。

13. 根据权利要求 12 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述控制和处理模块（70）还被配置成：基于所述经噪声处理的第二检测信号，对所述经噪声处理的第一检测信号进行校正。

14. 根据权利要求 11-13 中任一项所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述第一调制信号的调制频率大于所述第二检测器的信号采集频率。

15. 根据权利要求 4 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述入射模块（30）和所述反射模块（40）中的至少一者还包括相位补偿器，所述相位补偿器被布置用于在相应光束的偏振分量之间产生相位延迟。

16. 根据权利要求 15 所述的椭偏量测装置，其特征在于，其中所述起偏器（105）、所述检偏器（111）和所述相位补偿器中的至少一者是可操作旋转地。

17. 根据权利要求 16 所述的椭偏量测装置，其特征在于，所述控制和处理模块（70）还被配置为对所述起偏器（105）、所述检偏器（111）和所述相位补偿器中的至少一者的旋转进行控制。

18. 一种基于脉冲激光的光操作方法，其特征在于，所述光操作方法包括在椭偏量测模式下的第一操作方法，所述第一操作方法包括：

产生具有第一预定光强的第一激光脉冲串；

基于第一调制信号对所述第一激光脉冲串进行周期性调制，以获得经调制的第一激光脉冲串，其中所述第一调制信号的调制频率小于激光脉冲重频的四分之一；

至少使用起偏器对经调制的第一激光脉冲串进行起偏处理，并将经过起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串入射至样品；

至少使用检偏器对从所述样品反射或衍射的光信号进行检偏处理，以获得经处理的光信号；

使用第一检测器检测所述经处理的光信号并输出相应的第一检测信号；

基于所述第一调制信号作为参考信号，通过对所述第一检测信号的锁相放大，来产生经噪声处理的第一检测信号；以及

基于所述经噪声处理的第一检测信号，获得与所述样品的特性相关的信息；

其中所述第一调制信号的调制频率大于所述第一检测器的信号采集频率。

19. 根据权利要求 18 所述的方法，其特征在于，所述光操作方法还包括在脉冲清洗模式下的第二操作方法，其中所述第二操作方法包括：

产生具有第二预定光强的第二激光脉冲串；

使用第二调制信号对所述第二激光脉冲串进行调制，以获得经调制的第二激光脉冲串；

将所述经调制的所述第二激光脉冲串入射至样品，以对所述样品的表面的空气分子污染层进行清洗。

20. 根据权利要求 19 所述的方法，其特征在于，还包括：操作地选择所述椭偏量测模式和所述脉冲清洗模式两者中的一者。

21. 根据权利要求 20 所述的方法，其特征在于，操作地选择所述椭偏量测模式和所述脉冲

清洗模式两者中的一者包括：

调节光强控制器，以控制从脉冲激光器产生的激光脉冲串的光强。

22. 根据权利要求 19 所述的方法，其特征在于，还包括：

对所述经过起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串进行分光，以产生参考光；

对所述参考光进行检测，以输出第二检测信号；以及

基于所述第一调制信号作为参考信号，通过对所述第二检测信号的锁相放大，来产生经噪声处理的第二检测信号；以及

基于所述经噪声处理的第二检测信号，实现对所述经噪声处理的第一检测信号进行校正。

23. 根据权利要求 20 所述的方法，其特征在于，

所述至少使用起偏器对经调制的第一激光脉冲串进行起偏处理包括：使用第一相位补偿器，使经起偏处理的所述经调制的第一激光脉冲串的两个偏振分量之间产生相位延迟，并且使所述起偏器和所述第一相位补偿器之一在第一检测器检测时旋转；或

所述至少使用检偏器对从所述样品反射或衍射的光信号进行检偏处理包括：使用第二相位补偿器，使所述光信号的两个偏振分量之间产生相位延迟，并且使所述检偏器和所述第二相位补偿器之一在第一检测器检测时旋转。