明　細　書

発明の名称 ：

学習方法、推論モデル、ノイズ低減方法、ノイズ低減システム及びノイズ低減プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、画像からノイズによるちらつきを低減するために用いられる推論モデルを生成する学習方法、生成される推論モデル、並びに生成される推論モデルを用いて、画像からノイズによるちらつきを低減するノイズ低減方法、ノイズ低減システム及びノイズ低減プログラムに関する。

背景技術

[0002] 特許文献１には、機械学習によって生成された推論モデルによって、画像からノイズを低減することが示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０２３－１３９７８２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 発光像等の半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像にはランダムノイズが含まれる。半導体デバイスの故障解析では、半導体デバイスのパターン像と解析画像とを重畳して表示することがある。しかし、半導体デバイスのパターン像と解析画像とを重畳表示する際、ランダムノイズによるちらつきにより半導体デバイスのパターン像を視認しにくい場合があった。そのため、解析画像を用いた故障解析を行う際には、ランダムノイズのちらつきを低減することが求められる。

[0005] 上記の特許文献１に示されるものをはじめとした従来の推論モデルは、解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するために特化したもので

はなく、必ずしも適切にランダムノイズによるちらつきを低減できないおそれがあった。

[0006] 本発明の一実施形態は、上記に鑑みてなされたものであり、半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを適切に低減することができる学習方法、推論モデル、ノイズ低減方法、ノイズ低減システム及びノイズ低減プログラムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記の目的を達成するために、本発明の一実施形態に係る学習方法は、半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するために用いられる推論モデルを生成する学習方法であって、半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む学習用の解析画像、及び当該対象信号を含まないと共にランダムノイズを含む学習用のノイズ画像を取得する学習用取得ステップと、学習用取得ステップにおいて取得された学習用の解析画像のコントラストを低減して、コントラストを低減させた学習用の解析画像に対して、学習用のノイズ画像のランダムノイズを付加して、学習用のノイズ付加画像を生成するノイズ付加ステップと、ノイズ付加ステップにおいて生成された学習用のノイズ付加画像を用いて、推論モデルの機械学習の訓練を行う訓練ステップと、を含む。

[0008] 本発明の一実施形態に係る学習方法では、コントラストを低減させた学習用の解析画像に対して、学習用のノイズ画像のランダムノイズが付加されて、学習用のノイズ付加画像が生成される。このような学習用のノイズ付加画像を用いて生成される推論モデルは、解析画像からランダムノイズによるちらつきを適切に低減することができるものとなる。従って、本発明の一実施形態に係る学習方法によれば、解析画像からランダムノイズによるちらつきを適切に低減することができる。

[0009] 訓練ステップにおいて、コントラストを低減させた学習用の解析画像を、ランダムノイズを含まない画像として、かつ、学習用のノイズ付加画像を、ランダムノイズを含む画像として、推論モデルの機械学習の訓練を行うこと

としてもよい。この構成によれば、より適切に推論モデルの機械学習の訓練を行って、より適切な推論モデルを生成することができる。その結果、解析画像からランダムノイズによるちらつきをより適切に低減することができる。

[0010] ノイズ付加ステップにおいて、学習用の解析画像の各画素の画素値から、学習用のノイズ画像に応じた画素値を減じて、減じた後の各画素の画素値に予め設定した１未満の係数を乗じて、乗じた後の各画素の画素値に減じた画素値を加えて、コントラストを低減させた学習用の解析画像を生成することとしてもよい。この構成によれば、より適切な、コントラストを低減させた学習用の解析画像を生成することができる。その結果、解析画像からランダムノイズによるちらつきをより適切に低減することができる。

[0011] ノイズ付加ステップにおいて、互いに異なる複数の係数を用いて、コントラストを低減させた複数の学習用の解析画像を生成して、複数の学習用のノイズ付加画像を生成することとしてもよい。この構成によれば、１つの学習用の解析画像から、複数のコントラストを低減させた複数の学習用の解析画像を生成することができ、推論モデルの機械学習の訓練に用いる画像のバリエーションを増やすことができる。これによって、より適切に推論モデルの機械学習の訓練を行って、より適切な推論モデルを生成することができる。その結果、解析画像からランダムノイズによるちらつきをより適切に低減することができる。

[0012] 学習用取得ステップにおいて、学習用の解析画像となり得る部分を含む、当該学習用の解析画像よりもサイズが大きい元画像を取得して、取得した元画像の一部を切り出して、切り出した画像の画素値に基づく値と、学習用のノイズ画像の画素値に応じた値とを比較して、比較結果に応じて切り出した画像を当該学習用の解析画像とすることとしてもよい。更には、学習用取得ステップにおいて、切り出した画像の画素値に基づく値と、学習用のノイズ画像の画素値の平均又はばらつきの値とを比較して、比較結果に応じて切り出した画像を当該学習用の解析画像とすることとしてもよい。これらの構成

によれば、簡易かつ適切に学習用の解析画像を取得することができる。

[0013] 本発明の一実施形態に係る学習方法によって生成される推論モデル自体も、新規な構成を有する発明である。即ち、本発明の一実施形態に係る推論モデルは、半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像に基づく情報を入力して、入力に応じた演算を行って情報を出力するようコンピュータを機能させるための推論モデルであって、上記に記載の学習方法によって生成される。

[0014] 上記の目的を達成するために、本発明の一実施形態に係るノイズ低減方法は、半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するノイズ低減方法であって、半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む低減用の解析画像を取得する低減用取得ステップと、機械学習の訓練によって予め生成される推論モデルを用いて、低減用取得ステップにおいて取得された低減用の解析画像から、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像を生成する画像生成ステップと、を含む。

[0015] 本発明の一実施形態に係るノイズ低減方法によれば、解析画像からランダムノイズによるちらつきを適切に低減することができる。

[0016] 推論モデルは、上記の学習方法によって生成される推論モデルであることとしてもよい。この構成によれば、解析画像からランダムノイズによるちらつきを適切に低減することができる。

[0017] 低減用取得ステップにおいて、低減用の解析画像に対応する半導体デバイスのパターン画像も取得し、画像生成ステップにおいて、生成した推論画像と、低減用取得ステップにおいて取得されたパターン画像とを重畳した合成画像を生成することとしてもよい。この構成によれば、ランダムノイズによるちらつきを適切に低減した推論画像とパターン画像とを重畳した合成画像を得ることができる。

[0018] 本発明の一実施形態は、上記のようにノイズ低減方法の発明として記述できる他に、以下のようにノイズ低減システム及びノイズ低減プログラムの発

明としても記述することができる。これらはカテゴリが異なるだけで、実質的に同一の発明であり、同様の作用及び効果を奏する。

[0019] 即ち、本発明の一実施形態に係るノイズ低減システムは、半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するノイズ低減システムであって、半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む低減用の解析画像を取得する低減用取得手段と、機械学習の訓練によって予め生成される推論モデルを用いて、低減用取得手段によって取得された低減用の解析画像から、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像を生成する画像生成手段と、を備える。推論モデルは、上位の記載の学習方法によって生成される推論モデルであることとしてもよい。

[0020] また、本発明の一実施形態に係るノイズ低減プログラムは、半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するノイズ低減プログラムであって、半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む低減用の解析画像を取得する低減用取得処理と、機械学習の訓練によって予め生成される推論モデルを用いて、低減用取得処理によって取得された低減用の解析画像から、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像を生成する画像生成処理と、をコンピュータに実行させる。推論モデルは、上位の記載の学習方法によって生成される推論モデルであることとしてもよい。

発明の効果

[0021] 本発明の一実施形態によれば、半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを適切に低減することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]本発明の実施形態に係る学習システム及びノイズ低減システムの構成を示す図である。

[図2]実施形態で生成及び利用される推論モデルを入出力される画像の例とあわせて示す図である。

[図3]実施形態で利用される画像である。

[図4]実施形態で利用される画像を示すグラフである。

[図5]実施形態における推論モデルの機械学習の訓練の概要を示す図である。

[図6]本発明の実施形態に係る学習システムで実行される処理である学習方法を示すフローチャートである。

[図7]本発明の実施形態に係るノイズ低減システムで実行される処理であるノイズ低減方法を示すフローチャートである。

[図8]実施形態によって行われたノイズによるちらつき低減の例である。

[図9]実施形態によって行われたノイズによるちらつき低減の例である。

[図10]実施形態によって生成された合成画像（スーパーインポーズ像）の例である。

[図11]本発明の実施形態に係る学習プログラム及びノイズ低減プログラムの構成を、記録媒体と共に示す図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、図面と共に本発明に係る学習方法、推論モデル、ノイズ低減方法、ノイズ低減システム及びノイズ低減プログラムの実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

[0024] 図１（ａ）に本実施形態に係る学習方法を実行する学習システム１０を示す。図１（ｂ）に本実施形態に係るノイズ低減方法を実行するノイズ低減システム２０を示す。学習システム１０は、半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減（除去）するために用いられる推論モデルを生成するシステム（装置）である。ノイズ低減システム２０は、学習システム１０によって生成される推論モデルを用いて、解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するシステム（装置）である。

[0025] ランダムノイズによるちらつきの低減対象となる解析画像は、例えば、発光解析に用いられる発光像である。発光像は、例えば、故障解析の対象とな

る半導体デバイスに対する、ＩｎＧａＡｓカメラ等の撮像装置の撮像によって得られる。発光像は、半導体デバイスの故障の有無及び故障の箇所等に応じた箇所の発光をとらえたものである。発光像では、半導体デバイスの発光箇所以外は、背景とみなすことができる。

[0026] 発光像における発光を解析することで、半導体デバイスの故障の有無又は故障の箇所等の解析（故障解析）を行うことができる。ノイズ低減後の発光像を用いた半導体デバイスの故障解析は従来と同様に行われればよい。半導体デバイスの故障解析は、例えば、製造ラインにおいて製造される半導体デバイスの検査で行われる。また、半導体デバイスの故障解析は、別の検査によって故障していること、あるいは異常動作することがわかっている半導体デバイスに対して行われる。故障解析の対象となる半導体デバイスは、マイコン、ロジックＩＣ（Integrated Circuit）、アナログＩＣ若しくはハイブリットＩＣ等の集積回路、揮発性メモリ若しくは不揮発性メモリ等のメモリデバイス、パワー半導体デバイス、光半導体デバイス、又はディスクリートデバイスなどである。なお、ランダムノイズによるちらつきの低減対象となる解析画像は、半導体デバイスの故障解析に用いられるものであれば発光像以外のものであってもよい。例えば、解析画像は、サーマルカメラの撮像によって得られたもの（発熱像）、ＳＩ－ＣＣＤカメラの撮像によって得られたもの、又はＯＢＩＲＣＨ（Optical Beam Induced Resistance CHange）解析、ＯＢＩＣ（Optical Beam Induced Current）解析、若しくはＥＯＦＭ（Electro Optical Frequency Mapping）解析等によって得られたものであってもよい。

[0027] 解析画像には、本実施形態での低減対象となるランダムノイズが含まれる。ランダムノイズは、例えば、撮像時の条件及び撮像装置に応じて時間的にも空間的にも不規則に発生するノイズである。特に、ランダムノイズが空間的にちらついて発生するため、解析画像は、ランダムノイズによって解析画像全体がちらついて見えてしまう。そのため、半導体デバイスのパターン画像など他の画像と重畳して表示する際の視認性が低下し、故障解析の精度が

低下する。ランダムノイズのちらつきを低減した解析画像は、他の画像との重畳表示において視認性が向上する。そのため、ランダムノイズのちらつきを低減した解析画像を用いることで、故障解析の精度を上げることができる。解析画像が発光像である場合には、発光解析性能を向上させることができる。

[0028] 図２にランダムノイズを含む発光像３１の例、及び推論モデルを用いることで得られるランダムノイズを低減した発光像３２（デノイズ画像）の例を示す。

[0029] 学習システム１０及びノイズ低減システム２０は、プロセッサ、メモリ、通信モジュール等のハードウェアを含む従来のコンピュータを含んで構成される。当該プロセッサは、例えば、ＣＰＵ（Central Processing Unit）又はＧＰＵ（Graphics Processing Unit）である。

[0030] また、学習システム１０及びノイズ低減システム２０は、処理に用いる画像を取得するためのカメラ等の撮像装置を含んでいてもよい。あるいは、学習システム１０及びノイズ低減システム２０は、処理に用いる画像を取得するためのカメラ等の撮像装置に含まれていてもよい。図１では、学習システム１０及びノイズ低減システム２０は、別々のシステム（装置）として示しているが、同じシステム（装置）によって実現されてもよい。

[0031] 学習システム１０及びノイズ低減システム２０を構成するコンピュータは、複数のコンピュータを含むコンピュータシステムであってもよい。また、コンピュータは、クラウドコンピューティング又はエッジコンピューティングで構成されていてもよい。学習システム１０及びノイズ低減システム２０の後述する各機能は、これらの構成要素がプログラム等により動作することによって発揮される。例えば、学習システム１０及びノイズ低減システム２０の後述する各機能（特にノイズ低減システム２０の機能）は、撮像装置に対応する専用のアプリケーションで実現されてもよい。

[0032] 引き続いて、本実施形態に係る学習システム１０及びノイズ低減システム２０の機能を説明する。図１に示すように学習システム１０は、学習用取得

部１１と、ノイズ付加部１２と、訓練部１３とを備えて構成される。

[0033] 学習システム１０は、機械学習の訓練によって推論モデルを生成する。推論モデルは、例えば、ニューラルネットワークを含んで構成される。ニューラルネットワークは、多層のものであってもよい。即ち、推論モデルは、深層学習（ディープラーニング）によって生成されてもよい。また、ニューラルネットワークは、畳み込みニューラルネットワーク（ＣＮＮ：Convolutional Neural Network）であってもよい。推論モデルの形式は、従来の機械学習（例えば、Ｎｏｉｓｅ２Ｃｌｅａｎ）の訓練によって生成される推論モデルと同様のものであってもよい。

[0034] 推論モデルは、解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するために用いられるものである。例えば、推論モデルは、ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像を入力して、ランダムノイズによるちらつき低減後の解析画像を出力する。この推論モデルは、デノイズモデル（ノイズ除去モデル）あり、解析画像のランダムノイズによるちらつきを改善するフィルタである。この場合、推論モデルには、入力層にランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像を入力するためのニューロンが設けられる。例えば、推論モデルに入力される情報は、ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像の各画素の画素値（輝度値）である。この場合、入力層には、解析画像の画素の数のニューロンが設けられ、それぞれのニューロンには対応する画素の画素値が入力される。

[0035] また、推論モデルには、出力層にランダムノイズによるちらつき低減後の解析画像を出力するためのニューロンが設けられる。例えば、推論モデルから出力される情報は、ランダムノイズによるちらつき低減後の解析画像の各画素の画素値である。この場合、出力層には、解析画像の画素の数のニューロンが設けられ、それぞれのニューロンから対応する画素の画素値が出力される。

[0036] あるいは、推論モデルは、ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像を入力して、当該解析画像に含まれるランダムノイズの画像（データ

）を出力するものであってもよい。この場合、出力されたランダムノイズの画像を、ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像から除去する処理を行うことで、ランダムノイズによるちらつき低減後の解析画像を得ることができる。また、推論モデルは、ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するためのものであれば、上記以外のものであってもよい。

[0037] 推論モデルは、解析画像に基づく情報を入力して、入力に応じた演算を行って情報を出力するようコンピュータを機能させるためのものである。推論モデルは、人工知能ソフトウェアの一部であるプログラムモジュールとしての利用が想定される。推論モデルは、例えば、プロセッサ及びメモリを備えるコンピュータにて用いられ、コンピュータのプロセッサが、メモリに記憶されたモデルからの指令に従って動作する。例えば、コンピュータのプロセッサが、当該指令に従って、モデルに対して情報を入力して、モデルに応じた演算を行って、モデルから結果を出力するように動作する。具体的には、コンピュータのプロセッサが、当該指令に従って、ニューラルネットワークの入力層に情報を入力して、ニューラルネットワークにおける学習の重み付け係数等のパラメータに基づく演算を行って、ニューラルネットワークの出力層から結果を出力するように動作する。なお、推論モデルは、ニューラルネットワーク以外によって構成されていてもよい。

[0038] 学習用取得部１１は、半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む学習用の解析画像、及び当該対象信号を含まないと共にランダムノイズを含む学習用のノイズ画像を取得する学習用取得手段である。学習用取得部１１は、学習用の解析画像となり得る部分を含む、当該学習用の解析画像よりもサイズが大きい元画像を取得して、取得した元画像の一部を切り出して、切り出した画像の画素値に基づく値と、学習用のノイズ画像の画素値に応じた値とを比較して、比較結果に応じて切り出した画像を当該学習用の解析画像としてもよい。学習用取得部１１は、切り出した画像の画素値に基づく値と、学習用のノイズ画像の画素値の平均又はばらつきの値とを

比較して、比較結果に応じて切り出した画像を当該学習用の解析画像としてもよい。

[0039] 学習用取得部１１によって取得される学習用の解析画像及び学習用のノイズ画像は、推論モデルの生成のためのものである。学習用取得部１１は、例えば、以下のように学習用の解析画像及び学習用のノイズ画像を取得する。学習用の解析画像及び学習用のノイズ画像は、ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像と同様の形式の画像である。例えば、学習用の解析画像及び学習用のノイズ画像は、ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像と同じサイズの画像であると共にランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像と同様の発光像である。

[0040] 学習用の解析画像及び学習用のノイズ画像は、ランダムノイズを含む。学習用の解析画像は、半導体デバイスに係る対象信号を含む。半導体デバイスに係る対象信号は、解析画像における半導体デバイスの故障解析に用いられる信号である。例えば、解析画像が発光像である場合、対象信号は、発光に係る信号である。また、解析画像が発熱像である場合、対象信号は、発熱（例えば、半導体デバイスの動作による発熱）に係る信号である。解析画像における発光又は発熱していない背景の部分は、対象信号に係るものではないではない。学習用のノイズ画像は、半導体デバイスに係る対象信号を含まない。例えば、学習用のノイズ画像は、学習用の解析画像の背景に相当する部分のみが写った画像である。ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像が発光像である場合には、学習用の解析画像は、半導体デバイスに係る発光がある画像であり、学習用のノイズ画像は、半導体デバイスに係る発光がない画像である。ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像が発熱像である場合には、学習用の解析画像は、半導体デバイスに係る発熱がある画像であり、学習用のノイズ画像は、半導体デバイスに係る発熱がない画像である。

[0041] 学習用の解析画像は、半導体デバイスに係る対象信号の画素値が大きめ（輝度が高め）のものを用いてもよい。推論モデルの生成をより適切に行うた

めである。

[0042] 学習用取得部１１は、学習用の解析画像となり得る部分を含む、当該学習用の解析画像よりもサイズが大きい元画像を取得する。学習用の解析画像を含む元画像は、例えば、撮像した画像にランダムノイズが生じる状態で、予め用意された学習用の半導体デバイスに対する撮像装置の撮像によって得られる画像である。学習用の半導体デバイスは、ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像に係る同一の種別の半導体デバイスであってもよいし、異なる種別の半導体デバイスであってもよい。元画像の取得は、例えば、元画像を撮像した撮像装置から受信することで、又は学習システム１０に対するユーザの元画像の入力操作を受け付けることで行われる。

[0043] 図３に示すように、学習用取得部１１は、元画像４１から、元画像４１より小さい予め設定されたサイズの領域の画像（元画像の一部）を切り出して、切り出した画像を学習用の解析画像４２とする。切り出される箇所は、ランダムな箇所であってもよいし、予め設定された箇所であってもよい。切り出される箇所は、半導体デバイスに係る対象信号を含むものとされる。元画像における、半導体デバイスに係る対象信号を含む箇所の検出は、必要に応じて任意の方法で行われればよい。学習用取得部１１は、１つの元画像４１の互いに異なる複数の箇所から複数の学習用の解析画像４２を取得してもよい。

[0044] 例えば、学習用の解析画像４２は、元画像４１（視野サイズ）の１０％～２０％のサイズで切り出してもよい。元画像４１のサイズが、１０００画素×１０００画素であれば、切り出される学習用の解析画像４２のサイズは、１２８画素×１２８画素としてもよい。

[0045] 学習用取得部１１は、学習用のノイズ画像となり得る部分を含む、当該学習用のノイズ画像よりもサイズが大きい元画像を取得する。学習用のノイズ画像を含む元画像は、例えば、撮像した画像にランダムノイズが生じる状態で、撮像対象物（半導体デバイス）がない状態での撮像装置の撮像によって得られる画像である。元画像の取得は、例えば、元画像を撮像した撮像装置

から受信することで、又は学習システム１０に対するユーザの元画像の入力操作を受け付けることで行われる。

[0046] 図３に示すように、学習用取得部１１は、元画像５１から、元画像５１より小さい予め設定されたサイズの領域の画像（元画像の一部）を切り出して、切り出した画像を学習用のノイズ画像５２とする。切り出される箇所は、ランダムな箇所であってもよいし、予め設定された箇所であってもよい。学習用取得部１１は、１つの元画像５１の互いに異なる複数の箇所から複数の学習用のノイズ画像５２を取得してもよい。

[0047] なお、学習用の解析画像及び学習用のノイズ画像の取得のための撮像装置の撮像は、学習用の解析画像及び学習用のノイズ画像に、ランダムノイズによるちらつきの低減対象となる解析画像と同様のランダムノイズが含まれるように行われてもよい。これらの画像に同様のランダムノイズが含まれることで、生成する推論モデルを、より適切に、ランダムノイズによるちらつきの低減対象となる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減できるものにすることができる。例えば、学習用の解析画像及び学習用のノイズ画像の取得のための撮像装置の撮像を、ランダムノイズによるちらつきの低減対象となる解析画像の取得ための撮像装置の撮像と同じ種類の撮像装置によって、同じ撮像条件で行われるようにしてもよい。

[0048] また、学習用取得部１１は、学習用の解析画像４２を元画像４１から切り出す際、学習用のノイズ画像に基づいて、切り出した画像を学習用の解析画像４２として採用するか否か判断してもよい。この場合、学習用取得部１１は、切り出した画像の画素値に基づく値と、学習用のノイズ画像の画素値に応じた値とを比較して、比較結果に応じて切り出した画像を当該学習用の解析画像とする。例えば、学習用取得部１１は、以下のように切り出した画像について、学習用の解析画像４２としての採用を判断する。

[0049] 学習用取得部１１は、学習用のノイズ画像５２の画素値の平均を算出する。この画素値の平均は、学習用のノイズ画像５２における背景の画素値の平均に相当する。学習用取得部１１は、算出した画素値の平均に、予め設定し

た１を超える係数（例えば、３）を乗じた値を算出する。学習用取得部１１は、算出した値と、元画像４１から切り出した部分画像の各画素の画素値とを比較する。

[0050] 元画像４１から切り出した部分画像に、算出した値以上の画素値を有する画素が含まれている場合、学習用取得部１１は、切り出した部分画像を、学習用の解析画像４２として採用すると判断する。学習用のノイズ画像５２の画素値の平均（背景の画素値の平均）を大きく超える画素値を有する画素は、半導体デバイスに係る対象信号に係るものと考えられるからである。あるいは、元画像４１から切り出した部分画像に、算出した値以上の画素値を有する画素の数が、予め設定した閾値以上である場合に、学習用取得部１１は、切り出した部分画像を、学習用の解析画像４２として採用すると判断してもよい。

[0051] また、学習用取得部１１は、上記の方法に代えて又は加えて、以下の方法によって上記の判断を行ってもよい。学習用取得部１１は、学習用のノイズ画像５２の画素値のばらつき（例えば、標準偏差（Ｓ．Ｄ．））を算出する。複数の学習用のノイズ画像５２を取得する場合には、学習用取得部１１は、複数の学習用のノイズ画像５２のばらつきの平均を算出してもよい。学習用取得部１１は、元画像４１から切り出した部分画像の画素値のばらつきを算出する。算出される部分画像の画素値のばらつきは、学習用のノイズ画像５２の画素値のばらつきと同様のもの（例えば、標準偏差）である。

[0052] 学習用取得部１１は、これらのばらつきを比較する。元画像４１から切り出した部分画像の画素値のばらつきが、学習用のノイズ画像５２の画素値のばらつきよりも大きい場合、学習用取得部１１は、切り出した部分画像を、学習用の解析画像４２として採用すると判断する。半導体デバイスに係る対象信号に相当する部分を含む画像の画素値のばらつきは、学習用のノイズ画像５２の画素値よりも大きくなると考えられるからである。例えば、対象信号に相当する部分を含む部分画像の画素値の標準偏差は、１１．２となり、ノイズ画像５２の画素値の標準偏差は、４．７となる。

[0053] あるいは、学習用取得部１１は、複数（例えば、１００）の部分画像を切り出し、学習用のノイズ画像５２の画素値のばらつきより大きい画素値のばらつきを有する部分画像のうち、最大のばらつきを有する部分画像を、学習用の解析画像４２として採用すると判断してもよい。また、学習用のノイズ画像５２の画素値のばらつきに、予め設定した１を超える係数を乗じた値を上記に判断に用いてもよい。

[0054] なお、学習用取得部１１は、上記以外の方法で学習用の解析画像及び学習用のノイズ画像を取得してもよい。取得される学習用の解析画像及び学習用のノイズ画像の数は、推論モデルの生成のための処理に十分な数である。学習用取得部１１は、取得した学習用の解析画像及び学習用のノイズ画像をノイズ付加部１２に出力する。

[0055] ノイズ付加部１２は、学習用取得部１１によって取得された学習用の解析画像のコントラストを低減して、コントラストを低減させた学習用の解析画像に対して、学習用のノイズ画像のランダムノイズを付加して、学習用のノイズ付加画像を生成するノイズ付加手段である。ノイズ付加部１２は、学習用の解析画像の各画素の画素値から、学習用のノイズ画像に応じた画素値を減じて、減じた後の各画素の画素値に予め設定した１未満の係数を乗じて、乗じた後の各画素の画素値に減じた画素値を加えて、コントラストを低減させた学習用の解析画像を生成してもよい。ノイズ付加部１２は、互いに異なる複数の係数を用いて、コントラストを低減させた複数の学習用の解析画像を生成して、複数の学習用のノイズ付加画像を生成してもよい。

[0056] 画像のコントラストは、例えば、画像に含まれる画素の画素値の最大値と最小値との差分で定義される。ノイズ付加部１２によって生成される、コントラストを低減させた学習用の解析画像、及び学習用のノイズ付加画像は、推論モデルの生成のための機械学習の訓練に用いられるものである。学習用の解析画像のコントラストを低減することで、当該解析画像に含まれるランダムノイズによるちらつきを低減する。当該解析画像に含まれるランダムノイズ自体をゼロにすることはできないが、ランダムノイズによるちらつきを

ゼロに近づけることができる。本実施形態では、コントラストを低減させた学習用の解析画像を、ランダムノイズを含まない画像として扱う。学習用のノイズ付加画像は、コントラストを低減させた学習用の解析画像（ランダムノイズを含まない画像）に対応するランダムノイズを含む画像である。

[0057] 本実施形態における推論モデルの訓練は、学習用のノイズ付加画像（ランダムノイズを含む画像）を推論モデルに入力した場合にコントラストを低減させた学習用の解析画像（ランダムノイズを含まない画像）を出力するように行われる。ノイズ付加部１２は、例えば、以下のようにコントラストを低減させた学習用の解析画像、及び学習用のノイズ付加画像を生成する。

[0058] ノイズ付加部１２は、学習用取得部１１から学習用の解析画像４２及び学習用のノイズ画像５２を入力する。図４に、コントラストを低減させた学習用の解析画像、及び学習用のノイズ付加画像の生成を説明するためのグラフを示す。図４に示すグラフは、画像に対応するものである。図４に示すグラフにおいて、横軸は各画素を示し、縦軸は各画素の画素値を示す。

[0059] 図４に示すグラフＧ１は、学習用の解析画像４２のグラフである。グラフＧ１におけるピークの部分は、半導体デバイスに係る対象信号に相当する部分である。解析画像が発光像である場合には、当該部分は発光している箇所である。グラフＧ１におけるピークの部分以外は、半導体デバイスに係る対象信号に相当しない背景の部分である。グラフＧ１における全ての部分にランダムノイズが含まれる。

[0060] 図４に示すグラフＧ２は、学習用のノイズ画像５２のグラフである。グラフＧ２には、ピークの部分がなく、全ての部分が半導体デバイスに係る対象信号に相当しない背景の部分である。グラフＧ２における全ての部分にランダムノイズが含まれる。

[0061] ノイズ付加部１２は、学習用のノイズ画像５２の画素値の平均を算出する。なお、学習用のノイズ画像５２の画素値の平均が、学習用取得部１１によって算出されている場合には、ノイズ付加部１２は、それを利用してもよい。この画素値の平均は、学習用のノイズ画像５２における背景の画素値の平

均に相当する。

[0062] 図３に示すように、ノイズ付加部１２は、学習用の解析画像４２の各画素の画素値から、算出した画素値の平均（背景平均）を減じる。図４に示すグラフＧ３は、これによって得られた画像のグラフである。図４のグラフＧ３に示すように、当該画像は、背景の部分の画素値の平均がゼロのグラフである。なお、当該画像において、背景の部分の画素値の平均が厳密にゼロになっている必要はなく、背景の部分の画素値が概ねゼロに近くなっていればよい。

[0063] 続いて、図３に示すように、ノイズ付加部１２は、背景平均を減じた学習用の解析画像４２の各画素の画素値に予め設定した１未満の係数である輝度倍率を乗じる。図４に示すグラフＧ４は、これによって得られた画像のグラフである。輝度倍率を乗じることで、画像のコントラストを下げることができる。この結果、画像における背景の部分のノイズを低減することができる。輝度倍率は、例えば、０．０１（下限値）以上１（上限値）未満の範囲からランダムに選択されてもよい（但し、１は除く）。また、輝度倍率は、得られた画像における、背景の部分の画素値のばらつきが一定以下になるように予め設定されていてもよい。例えば、背景の部分の画素値の標準偏差（σ値）が１以下になるように、輝度倍率が設定されていてもよい。

[0064] また、上述した、学習用取得部１１によって、切り出した部分画像を学習用の解析画像４２として採用するか否か判断するために画素値の平均に乗じられる係数（上述した例では、３）は、輝度倍率に応じた値としてもよい。例えば、当該係数は、輝度倍率の下限値を用いた場合であっても、対象信号がノイズに埋もれない値としてもよい。また、当該観点で、輝度倍率が、当該係数に応じた値とされてもよい。

[0065] 続いて、図３に示すように、ノイズ付加部１２は、画素値に輝度倍率を乗じた画像、即ち、コントラストを下げた画像の各画素の画素値に対して、上記で減じた背景平均を加える。これによって得られた画像が、コントラストを低減させた学習用の解析画像である。半導体デバイスの解析画像には、ラ

ンダムノイズ以外のノイズも含むため、コントラストを下げた画像に対して背景平均を加えることで、実際の解析画像からランダムノイズによるちらつきだけを低減した学習用の解析画像を得ることができる。図４に示すグラフＧ５は、これによって得られた画像（コントラストを低減させた学習用の解析画像）のグラフである。このようにコントラストを低減させた学習用の解析画像は、背景平均の画素値を変えずに（背景平均の画素値を基準として）、解析画像のコントラストを低減した画像である。解析画像が発光像である場合には、当該画像は、コントラストを下げた発光像である。

[0066] コントラストを低減させた学習用の解析画像は、対象信号に相当する部分の画素値が小さくなっているものであるが、上記の通り、背景の部分のランダムノイズによるちらつきが低減されたものである。従って、上記の通り、コントラストを低減させた学習用の解析画像を、ランダムノイズを含まない画像として扱うことができる。

[0067] ノイズ付加部１２は、１つの学習用の解析画像４２に対して、複数の輝度倍率それぞれを用いて、コントラストの低減率が互いに異なるコントラストを低減させた複数の学習用の解析画像を生成してもよい。これによって、推論モデルの機械学習の訓練に用いる画像のバリエーションを増やすことができる。

[0068] また、図３に示すように、ノイズ付加部１２は、学習用のノイズ画像５２の各画素の画素値から、算出した学習用のノイズ画像５２の画素値の平均（背景平均）を減じる。図４に示すグラフＧ６は、これによって得られた画像のグラフである。図４のグラフＧ６に示すように、当該画像は、画素値の平均がゼロのグラフである。なお、当該画像において、画素値の平均が厳密にゼロになっている必要はなく、画素値が概ねゼロに近くなっていればよい。これによって得られる画像は、ゼロ平均のノイズ画像である。

[0069] 続いて、ノイズ付加部１２は、互いに同じ位置の画素毎に、コントラストを低減させた学習用の解析画像（例えば、コントラストを下げた発光像）の各画素の画素値と、ゼロ平均のノイズ画像の各画素の画素値とを加算する。

これによって得られた画像が、学習用のノイズ付加画像である。図４に示すグラフＧ７は、コントラストを低減させた学習用の解析画像のグラフＧ５と、ゼロ平均のノイズ画像のグラフＧ６とを重ね合わせたものである。

[0070] 上記の通り、ゼロ平均のノイズ画像を、コントラストを低減させた学習用の解析画像を加えていることで、コントラストを低減させた学習用の解析画像に、学習用のノイズ画像におけるランダムノイズがない場合の画素値を除いたランダムノイズ部分のみの画素値を付加することができる。

[0071] なお、生成される学習用のノイズ付加画像は、コントラストを低減させた学習用の解析画像に対して、学習用のノイズ画像のランダムノイズを付加して生成でき、また、推論モデルの機械学習の訓練に用いることができるものであれば、上記以外のものであってもよい。また、ノイズ付加部１２は、上記以外の方法で学習用の解析画像４２及び学習用のノイズ画像５２から、学習用のノイズ付加画像を生成してもよい。

[0072] ノイズ付加部１２は、生成したコントラストを低減させた学習用の解析画像と、当該コントラストを低減させた学習用の解析画像から生成した学習用のノイズ付加画像との組み合わせを訓練部１３に出力する。

[0073] 訓練部１３は、ノイズ付加部１２によって生成された学習用のノイズ付加画像を用いて、推論モデルの機械学習の訓練を行う訓練手段である。訓練部１３は、コントラストを低減させた学習用の解析画像を、ランダムノイズを含まない画像として、かつ、学習用のノイズ付加画像を、ランダムノイズを含む画像として、推論モデルの機械学習の訓練を行ってもよい。

[0074] 訓練部１３は、例えば、以下のように推論モデルの機械学習の訓練を行う。訓練部１３は、コントラストを低減させた学習用の解析画像と、学習用のノイズ付加画像との組み合わせを入力する。訓練部１３は、この組み合わせを用いて、推論モデルを訓練する。

[0075] 訓練部１３は、コントラストを低減させた学習用の解析画像を、ランダムノイズを含まない画像として、かつ、学習用のノイズ付加画像を、ランダムノイズを含む画像として、推論モデルの機械学習の訓練を行う。例えば、推

論モデルを、ランダムノイズを含む解析画像を入力して、ランダムノイズによるちらつき低減後の画像を出力するものとする場合、訓練部１３は、推論モデルを、学習用のノイズ付加画像を入力して、コントラストを低減させた学習用の解析画像を出力するように推論モデルの訓練を行う。例えば、解析画像が発光像である場合には、図５に示すように、コントラストを下げた発光像＋ゼロ平均ノイズである発光強度を変更した合成発光像（学習用のノイズ付加画像）が推論モデルに入力された場合に、コントラストを下げた発光像である発光強度を変更した発光像（コントラストを低減させた学習用の解析画像）が推論モデルから出力されるように推論モデルの訓練が行われる。即ち、推論モデルがコントラストを低減させた学習用の解析画像に付加されたランダムノイズの成分を消すように、推論モデルの訓練が行われる。訓練部１３は、従来の方法（例えば、Ｎｏｉｓｅ２Ｃｌｅａｎ）によって推論モデルの訓練を行う。

[0076] この場合、例えば、訓練部１３は、学習用のノイズ付加画像を推論モデルに入力し、その時点の推論モデルでランダムノイズによるちらつきが低減された画像を、推論モデルからの出力として得る。訓練部１３は、推論モデルからの出力と、コントラストを低減させた学習用の解析画像とを比較して、比較に基づく損失（Ｌｏｓｓ）に基づく誤差逆伝搬によって推論モデルのパラメータを更新する。

[0077] また、推論モデルを、ランダムノイズを含む解析画像を入力して、ランダムノイズの画像を出力するものとする場合、訓練部１３は、推論モデルを、学習用のノイズ付加画像を入力して、入力した画像に対応する学習用のノイズ画像を出力するように推論モデルの訓練を行う。

[0078] 訓練部１３は、コントラストを低減させた学習用の解析画像と、学習用のノイズ付加画像との複数の組み合わせを用いて、繰り返し推論モデルを訓練する。推論モデルの訓練の繰り返しは、従来の機械学習の訓練と同様に、例えば、予め設定された回数、又は推論モデルの生成が予め設定された条件に基づいて収束するまで行われる。上記の推論モデルの訓練の繰り返しが終了

されると、訓練部１３は、生成した推論モデルをノイズ低減システム２０に出力する。以上が、学習システム１０の機能である。

[0079] 図１に示すようにノイズ低減システム２０は、低減用取得部２１と、画像生成部２２とを備えて構成される。

[0080] 低減用取得部２１は、半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む低減用の解析画像を取得する低減用取得手段である。低減用取得部２１は、低減用の解析画像に対応する半導体デバイスのパターン画像も取得してもよい。

[0081] 低減用取得部２１は、例えば、以下のように画像を取得する。低減用取得部２１は、低減用の解析画像を撮像した撮像装置から受信することで、又はノイズ低減システム２０に対するユーザの画像の入力操作を受け付けることで低減用の解析画像を取得する。推論モデルに入力される低減用の解析画像のサイズが、上述した学習用の解析画像と同様に、撮像装置の撮像によって得られる元画像から切り出される、当該元画像よりも小さいサイズである場合、低減用取得部２１は、元画像を取得して、元画像を推論モデルに入力される解析画像のサイズに分割して、分割後の画像を低減用の解析画像としてもよい。

[0082] 低減用取得部２１は、上記以外の方法で低減用の解析画像を取得してもよい。低減用取得部２１は、取得した低減用の解析画像を画像生成部２２に出力する。

[0083] 低減用取得部２１は、低減用の解析画像に対応する半導体デバイスのパターン画像も取得してもよい。パターン画像は、半導体デバイスのパターンを撮像した画像である。パターン画像は、従来、発光像とあわせて半導体デバイスの故障解析に用いられる画像である。低減用取得部２１は、例えば、低減用の解析画像、又はその元画像に対応するパターン画像（互いに同じ位置の画素が半導体デバイスの同じ位置を示す画像）を取得する。低減用取得部２１は、低減用の解析画像と同様の方法でパターン画像を取得すればよい。低減用取得部２１は、取得した半導体デバイスのパターン画像を画像生成部

２２に出力する。

[0084] 画像生成部２２は、機械学習の訓練によって予め生成される推論モデルを用いて、低減用取得部２１によって取得された低減用の解析画像から、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像を生成する画像生成手段である。画像生成部２２によって用いられる推論モデルは、学習システム１０によって生成される推論モデルであってもよい。画像生成部２２は、生成した推論画像と、低減用取得部２１によって取得されたパターン画像とを重畳した合成画像を生成してもよい。

[0085] 画像生成部２２は、例えば、以下のように画像を生成する。画像生成部２２は、学習システム１０によって生成された推論モデルを入力して記憶しておき、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像の生成に利用する。また、画像生成部２２は、学習システム１０によって生成された以外の推論モデルを記憶しておき、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像の生成に利用してもよい。

[0086] 画像生成部２２は、低減用取得部２１から低減用の解析画像を入力する。画像生成部２２は、入力した低減用の解析画像を推論モデルに入力してランダムノイズによるちらつき低減後の推論画像を生成する。例えば、推論モデルが、ランダムノイズによるちらつき低減後の推論画像を出力するものであった場合、画像生成部２２は、推論モデルからの出力をランダムノイズによるちらつき低減後の推論画像として取得する。あるいは、推論モデルが、ランダムノイズの画像を出力するものであった場合、画像生成部２２は、推論モデルを用いて得られたランダムノイズの画像によって示されるランダムノイズを、低減用の解析画像から除去することで、ランダムノイズによるちらつき低減後の推論画像を得る。また、画像生成部２２は、推論モデルを用いる方法であれば上記以外の方法で低減用の解析画像からランダムノイズによるちらつき低減後の推論画像を生成してもよい。

[0087] 低減用取得部２１によって半導体デバイスのパターン画像が取得される場合には、画像生成部２２は、低減用取得部２１から半導体デバイスのパター

ン画像を入力する。画像生成部２２は、生成したランダムノイズによるちらつき低減後の推論画像と、パターン画像とを重畳した合成画像（スーパーインポーズ像）を生成する。合成画像の生成は、従来と同様に行われればよい。

[0088] 画像生成部２２によって生成された画像（ランダムノイズによるちらつき低減後の推論画像又は合成画像）は、半導体デバイスの故障解析に用いられる。画像生成部２２は、生成した画像を出力する。生成した画像の出力は、行われる半導体デバイスの故障解析に応じて従来の方法と同様に行われればよい。この際、低減用の解析画像（ランダムノイズによるちらつき低減前の解析画像）と、ランダムノイズによるちらつき低減後の推論画像とを選択的に表示できるようにしてもよい。以上が、ノイズ低減システム２０の機能である。

[0089] 引き続いて、図６及び図７のフローチャートを用いて、本実施形態に係る学習システム１０及びノイズ低減システム２０で実行される処理（学習システム１０及びノイズ低減システム２０が行う動作方法）を説明する。

[0090] まず、図６のフローチャートを用いて、本実施形態に係る学習システム１０で実行される処理である学習方法を説明する。本処理では、学習用取得部１１によって、半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む学習用の解析画像、及び当該対象信号を含まないと共にランダムノイズを含む学習用のノイズ画像が取得される（Ｓ０１、学習用取得ステップ）。続いて、ノイズ付加部１２によって、学習用の解析画像のコントラストが低減されて、コントラストを低減させた学習用の解析画像が生成される（Ｓ０２、ノイズ付加ステップ）。続いて、ノイズ付加部１２によって、コントラストを低減させた学習用の解析画像に対して、学習用のノイズ画像のランダムノイズが付加されて、学習用のノイズ付加画像が生成される（Ｓ０３、ノイズ付加ステップ）。

[0091] 続いて、訓練部１３によって、学習用のノイズ付加画像が用いられて、推論モデルの機械学習の訓練が行われる（Ｓ０４、訓練ステップ）。続いて、

訓練によって生成された推論モデルが、学習システム１０からノイズ低減システム２０に出力される（Ｓ０５）。ノイズ低減システム２０では、推論モデルが記憶されて、以下のノイズ低減の処理で用いられる。以上が、本実施形態に係る学習システム１０で実行される処理である学習方法である。

[0092] 続いて、図７のフローチャートを用いて、本実施形態に係るノイズ低減システム２０で実行される処理であるノイズ低減方法を説明する。本処理では、低減用取得部２１によって、半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む低減用の解析画像が取得される（Ｓ１１、低減用取得ステップ）。続いて、画像生成部２２によって、推論モデルが用いられて、低減用の解析画像から、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像が生成される（Ｓ１２、画像生成ステップ）。ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像は、画像生成部２２から所定の出力先に出力される（Ｓ１３）。低減用取得部２１によって、低減用の解析画像に対応する半導体デバイスのパターン画像が取得される場合には、画像生成部２２によって、推論画像と、パターン画像とを重畳した合成画像が生成されて出力される。以上が、本実施形態に係るノイズ低減システム２０で実行される処理であるノイズ低減方法である。

[0093] 本実施形態に係る学習システム１０では、コントラストを低減させた学習用の解析画像に対して、学習用のノイズ画像のランダムノイズが付加されて、学習用のノイズ付加画像が生成される。このような学習用のノイズ付加画像を用いて生成される推論モデルは、解析画像からランダムノイズによるちらつきを適切に低減することができるものとなる。従って、本実施形態に係る学習システム１０によれば、解析画像からランダムノイズによるちらつきを適切に低減することができる。また、本実施形態では、ランダムノイズを含まない解析画像を予め用意する必要がない。

[0094] 本実施形態のように、コントラストを低減させた学習用の解析画像を、ランダムノイズを含まない画像として、かつ、学習用のノイズ付加画像を、ランダムノイズを含む画像として、推論モデルの機械学習の訓練を行ってもよ

い。この構成によれば、より適切に推論モデルの機械学習の訓練を行って、より適切な推論モデルを生成することができる。その結果、解析画像からランダムノイズによるちらつきをより適切に低減することができる。但し、推論モデルの機械学習の訓練は、コントラストを低減させた学習用の解析画像及び学習用のノイズ付加画像を必ずしも上記のように扱って行われる必要はなく、学習用のノイズ付加画像が用いられて行われればよい。

[0095] 本実施形態のように、学習用の解析画像の各画素の画素値から、学習用のノイズ画像に応じた画素値を減じて、減じた後の各画素の画素値に予め設定した１未満の係数（輝度倍率）を乗じて、乗じた後の各画素の画素値に減じた画素値を加えて、コントラストを低減させた学習用の解析画像を生成してもよい。この構成によれば、より適切な、コントラストを低減させた学習用の解析画像を生成することができる。その結果、解析画像からランダムノイズによるちらつきをより適切に低減することができる。但し、コントラストを低減させた学習用の解析画像の生成は、必ずしも上記のように行われる必要はなく、任意の方法で行われればよい。

[0096] 本実施形態のように、互いに異なる複数の係数（輝度倍率）を用いて、コントラストを低減させた複数の学習用の解析画像を生成して、複数の学習用のノイズ付加画像を生成してもよい。この構成によれば、１つの学習用の解析画像から、複数のコントラストを低減させた複数の学習用の解析画像を生成することができ、推論モデルの機械学習の訓練に用いる画像のバリエーションを増やすことができる。これによって、より適切に推論モデルの機械学習の訓練を行って、より適切な推論モデルを生成することができる。その結果、解析画像からランダムノイズによるちらつきをより適切に低減することができる。但し、学習用のノイズ付加画像の生成において、互いに異なる複数の係数（輝度倍率）を用いる必要はない。

[0097] 本実施形態のように、学習用の解析画像となり得る部分を含む、当該学習用の解析画像よりもサイズが大きい元画像を取得して、取得した元画像の一部を切り出して、切り出した画像の画素値に基づく値と、学習用のノイズ画

像の画素値に応じた値とを比較して、比較結果に応じて切り出した画像を当該学習用の解析画像としてもよい。具体的には、切り出した画像の画素値に基づく値と、学習用のノイズ画像の画素値の平均又はばらつきの値とを比較して、比較結果に応じて切り出した画像を当該学習用の解析画像としてもよい。これらの構成によれば、簡易かつ適切に学習用の解析画像を取得することができる。その結果、解析画像からランダムノイズによるちらつきをより適切に低減することができる。但し、学習用の解析画像の取得は、上記のように行われる必要はない。

[0098] 本実施形態に係るノイズ低減システム２０によれば、解析画像からランダムノイズによるちらつきを適切に低減することができる。

[0099] 本実施形態のように、低減用の解析画像に対応する半導体デバイスのパターン画像も取得し、生成した推論画像と、パターン画像とを重畳した合成画像を生成してもよい。この構成によれば、ランダムノイズによるちらつきを適切に低減した推論画像とパターン画像とを重畳した合成画像を得ることができる。

[0100] 引き続いて、本実施形態による実施例を示す。図８に、本実施形態によって行われたランダムノイズによるちらつき低減の例を示す。図８（ａ）は、ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像であり、図８（ｂ）は、当該解析画像に対して本実施形態によってランダムノイズによるちらつきの低減が行われた推論画像である。図８（ａ）に示すランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像は、レンズ倍率５倍の条件で撮像されたものである。また、図８の各画像における一部分Ｒ１における画素値の標準偏差（Ｓ．Ｄ．）を示す。当該一部分Ｒ１は、半導体デバイスに係る対象信号に相当しない、背景の部分である。従って、一部分Ｒ１における画素値の標準偏差は、値が小さいほどランダムノイズによるちらつきが少ないことを示している。

[0101] 図９に、本実施形態によって行われたランダムノイズによるちらつき低減の例を示す。図９（ａ）は、ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解

析画像であり、図９（ｂ）は、当該解析画像に対して本実施形態によってランダムノイズによるちらつきの低減が行われた推論画像である。図９（ａ）に示すランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像は、レンズ倍率２０倍の条件で撮像されたものである。また、図９の各画像における一部分Ｒ２における画素値の標準偏差（Ｓ．Ｄ．）を示す。当該一部分Ｒ２は、半導体デバイスに係る対象信号に相当しない、背景の部分である。従って、一部分Ｒ２における画素値の標準偏差は、値が小さいほどランダムノイズによるちらつきが少ないことを示している。図８及び図９の実施例の何れにおいても、解析画像のランダムノイズによるちらつきの低減が適切に行えている。

[0102] 図１０に、本実施形態によって生成された合成画像（スーパーインポーズ像）の例を示す。図１０（ａ）は、ランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像とパターン画像とを重畳した合成画像である。図１０（ｂ）は、当該解析画像に対して本実施形態によってランダムノイズによるちらつきの低減が行われた推論画像とパターン画像とを重畳した合成画像である。図１０（ａ）の合成画像に用いられたランダムノイズによるちらつきの低減対象の解析画像は、半導体デバイスの駆動周波数１．２ＭＨｚで撮像されたものである。

[0103] また、図１０（ａ）（ｂ）の各画像における一部分Ｒ３を拡大した画像を図１０（ｃ）（ｄ）に示す。当該一部分Ｒ２は、半導体デバイスに係る対象信号に相当する部分である。図１０の実施例においても、解析画像のランダムノイズによるちらつきの低減が適切に行えている。図１０の実施例では、ランダムノイズによるちらつきの低減（デノイズ）が行われていない場合（図１０（ａ）（ｃ））に比べて、ランダムノイズによるちらつきの低減（デノイズ）が行われた場合（図１０（ｂ）（ｄ））、発光量の弱い信号も確認が可能である。

[0104] 引き続いて、上述した一連の学習システム１０及びノイズ低減システム２０による処理を実行させるための学習プログラム及びノイズ低減プログラム

を説明する。図１１（ａ）に示すように、学習プログラム１００は、コンピュータに挿入されてアクセスされる、あるいはコンピュータが備える、コンピュータ読み取り可能な記録媒体１１０に形成されたプログラム格納領域１１１内に格納される。記録媒体１１０は、非一時的な記録媒体であってもよい。

[0105] 学習プログラム１００は、学習用取得モジュール１０１と、ノイズ付加モジュール１０２と、訓練モジュール１０３とを備えて構成される。学習用取得モジュール１０１と、ノイズ付加モジュール１０２と、訓練モジュール１０３とを実行させることにより実現される機能は、上述した学習システム１０の学習用取得部１１と、ノイズ付加部１２と、訓練部１３との機能とそれぞれ同様である。

[0106] 図１１（ｂ）に示すように、ノイズ低減プログラム２００は、コンピュータに挿入されてアクセスされる、あるいはコンピュータが備える、コンピュータ読み取り可能な記録媒体２１０に形成されたプログラム格納領域２１１内に格納される。記録媒体２１０は、非一時的な記録媒体であってもよい。なお、学習プログラム１００及びノイズ低減プログラム２００が同一のコンピュータで実行される場合には、記録媒体２１０は、記録媒体１１０と同一であってもよい。

[0107] ノイズ低減プログラム２００は、低減用取得モジュール２０１と、画像生成モジュール２０２とを備えて構成される。低減用取得モジュール２０１と、画像生成モジュール２０２とを実行させることにより実現される機能は、上述したノイズ低減システム２０の低減用取得部２１と、画像生成部２２との機能とそれぞれ同様である。

[0108] なお、学習プログラム１００及びノイズ低減プログラム２００は、その一部又は全部が、通信回線等の伝送媒体を介して伝送され、他の機器により受信されて記録（インストールを含む）される構成としてもよい。また、学習プログラム１００及びノイズ低減プログラム２００の各モジュールは、１つのコンピュータでなく、複数のコンピュータの何れかにインストールされて

もよい。その場合、当該複数のコンピュータによるコンピュータシステムよって上述した一連の処理が行われる。

[0109] 本開示の学習方法、推論モデル、ノイズ低減方法、ノイズ低減システム及びノイズ低減プログラムは、以下の構成を有する。

［１］ 半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するために用いられる推論モデルを生成する学習方法であって、

半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む学習用の解析画像、及び当該対象信号を含まないと共にランダムノイズを含む学習用のノイズ画像を取得する学習用取得ステップと、

前記学習用取得ステップにおいて取得された学習用の解析画像のコントラストを低減して、コントラストを低減させた学習用の解析画像に対して、学習用のノイズ画像のランダムノイズを付加して、学習用のノイズ付加画像を生成するノイズ付加ステップと、

前記ノイズ付加ステップにおいて生成された学習用のノイズ付加画像を用いて、推論モデルの機械学習の訓練を行う訓練ステップと、

を含む学習方法。

［２］ 前記訓練ステップにおいて、コントラストを低減させた学習用の解析画像を、ランダムノイズを含まない画像として、かつ、学習用のノイズ付加画像を、ランダムノイズを含む画像として、推論モデルの機械学習の訓練を行う［１］に記載の学習方法。

［３］ 前記ノイズ付加ステップにおいて、前記学習用の解析画像の各画素の画素値から、前記学習用のノイズ画像に応じた画素値を減じて、減じた後の各画素の画素値に予め設定した１未満の係数を乗じて、乗じた後の各画素の画素値に減じた画素値を加えて、コントラストを低減させた学習用の解析画像を生成する［１］又は［２］に記載の学習方法。

［４］ 前記ノイズ付加ステップにおいて、互いに異なる複数の前記係数を用いて、コントラストを低減させた複数の学習用の解析画像を生成して、

複数の学習用のノイズ付加画像を生成する［３］に記載の学習方法。

［５］　前記学習用取得ステップにおいて、前記学習用の解析画像となり得る部分を含む、当該学習用の解析画像よりもサイズが大きい元画像を取得して、取得した元画像の一部を切り出して、切り出した画像の画素値に基づく値と、前記学習用のノイズ画像の画素値に応じた値とを比較して、比較結果に応じて切り出した画像を当該学習用の解析画像とする［１］～［４］の何れかに記載の学習方法。

［６］　前記学習用取得ステップにおいて、切り出した画像の画素値に基づく値と、前記学習用のノイズ画像の画素値の平均又はばらつきの値とを比較して、比較結果に応じて切り出した画像を当該学習用の解析画像とする［５］に記載の学習方法。

［７］　半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像に基づく情報を入力して、入力に応じた演算を行って情報を出力するようコンピュータを機能させるための推論モデルであって、

［１］～［６］の何れかに記載の学習方法によって生成される推論モデル。

［８］　半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するノイズ低減方法であって、

半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む低減用の解析画像を取得する低減用取得ステップと、

機械学習の訓練によって予め生成される推論モデルを用いて、前記低減用取得ステップにおいて取得された低減用の解析画像から、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像を生成する画像生成ステップと、

を含むノイズ低減方法。

［９］　前記推論モデルは、［１］～［６］の何れかに記載の学習方法によって生成される推論モデルである［８］に記載のノイズ低減方法。

［１０］　前記低減用取得ステップにおいて、低減用の解析画像に対応する前記半導体デバイスのパターン画像も取得し、

前記画像生成ステップにおいて、生成した推論画像と、前記低減用取得ステップにおいて取得されたパターン画像とを重畳した合成画像を生成する［８］又は［９］に記載のノイズ低減方法。

［１１］　半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するノイズ低減システムであって、

半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む低減用の解析画像を取得する低減用取得手段と、

機械学習の訓練によって予め生成される推論モデルを用いて、前記低減用取得手段によって取得された低減用の解析画像から、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像を生成する画像生成手段と、

を備えるノイズ低減システム。

［１２］　前記推論モデルは、［１］～［６］の何れかに記載の学習方法によって生成される推論モデルである［１１］に記載のノイズ低減システム。

［１３］　半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するノイズ低減プログラムであって、

半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む低減用の解析画像を取得する低減用取得処理と、

機械学習の訓練によって予め生成される推論モデルを用いて、前記低減用取得処理によって取得された低減用の解析画像から、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像を生成する画像生成処理と、

をコンピュータに実行させるノイズ低減プログラム。

［１４］　前記推論モデルは、［１］～［６］の何れかに記載の学習方法によって生成される推論モデルである［１３］に記載のノイズ低減プログラム。

符号の説明

[0110]　１０…学習システム、１１…学習用取得部、１２…ノイズ付加部、１３…訓練部、２０…ノイズ低減システム、２１…低減用取得部、２２…画像生成

部、１００…学習プログラム、１０１…学習用取得モジュール、１０２…ノイズ付加モジュール、１０３…訓練モジュール、１１０…記録媒体、１１１…プログラム格納領域、２００…ノイズ低減プログラム、２０１…低減用取得モジュール、２０２…画像生成モジュール、２１０…記録媒体、２１１…プログラム格納領域。

請求の範囲

[請求項1] 半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するために用いられる推論モデルを生成する学習方法であって、

半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む学習用の解析画像、及び当該対象信号を含まないと共にランダムノイズを含む学習用のノイズ画像を取得する学習用取得ステップと、

前記学習用取得ステップにおいて取得された学習用の解析画像のコントラストを低減して、コントラストを低減させた学習用の解析画像に対して、学習用のノイズ画像のランダムノイズを付加して、学習用のノイズ付加画像を生成するノイズ付加ステップと、

前記ノイズ付加ステップにおいて生成された学習用のノイズ付加画像を用いて、推論モデルの機械学習の訓練を行う訓練ステップと、

を含む学習方法。

[請求項2] 前記訓練ステップにおいて、コントラストを低減させた学習用の解析画像を、ランダムノイズを含まない画像として、かつ、学習用のノイズ付加画像を、ランダムノイズを含む画像として、推論モデルの機械学習の訓練を行う請求項１に記載の学習方法。

[請求項3] 前記ノイズ付加ステップにおいて、前記学習用の解析画像の各画素の画素値から、前記学習用のノイズ画像に応じた画素値を減じて、減じた後の各画素の画素値に予め設定した１未満の係数を乗じて、乗じた後の各画素の画素値に減じた画素値を加えて、コントラストを低減させた学習用の解析画像を生成する請求項１又は２に記載の学習方法。

[請求項4] 前記ノイズ付加ステップにおいて、互いに異なる複数の前記係数を用いて、コントラストを低減させた複数の学習用の解析画像を生成して、複数の学習用のノイズ付加画像を生成する請求項３に記載の学習方法。

[請求項5] 前記学習用取得ステップにおいて、前記学習用の解析画像となり得る部分を含む、当該学習用の解析画像よりもサイズが大きい元画像を取得して、取得した元画像の一部を切り出して、切り出した画像の画素値に基づく値と、前記学習用のノイズ画像の画素値に応じた値とを比較して、比較結果に応じて切り出した画像を当該学習用の解析画像とする請求項１又は２に記載の学習方法。

[請求項6] 前記学習用取得ステップにおいて、切り出した画像の画素値に基づく値と、前記学習用のノイズ画像の画素値の平均又はばらつきの値とを比較して、比較結果に応じて切り出した画像を当該学習用の解析画像とする請求項５に記載の学習方法。

[請求項7] 半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像に基づく情報を入力して、入力に応じた演算を行って情報を出力するようコンピュータを機能させるための推論モデルであって、

請求項１又は２に記載の学習方法によって生成される推論モデル。

[請求項8] 半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するノイズ低減方法であって、

半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む低減用の解析画像を取得する低減用取得ステップと、

機械学習の訓練によって予め生成される推論モデルを用いて、前記低減用取得ステップにおいて取得された低減用の解析画像から、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像を生成する画像生成ステップと、

を含むノイズ低減方法。

[請求項9] 前記推論モデルは、請求項１に記載の学習方法によって生成される推論モデルである請求項８に記載のノイズ低減方法。

[請求項10] 前記低減用取得ステップにおいて、低減用の解析画像に対応する前記半導体デバイスのパターン画像も取得し、

前記画像生成ステップにおいて、生成した推論画像と、前記低減用

取得ステップにおいて取得されたパターン画像とを重畳した合成画像を生成する請求項８に記載のノイズ低減方法。

[請求項11] 半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するノイズ低減システムであって、

半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む低減用の解析画像を取得する低減用取得手段と、

機械学習の訓練によって予め生成される推論モデルを用いて、前記低減用取得手段によって取得された低減用の解析画像から、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像を生成する画像生成手段と、

を備えるノイズ低減システム。

[請求項12] 前記推論モデルは、請求項１に記載の学習方法によって生成される推論モデルである請求項１１に記載のノイズ低減システム。

[請求項13] 半導体デバイスの故障解析に用いられる解析画像からランダムノイズによるちらつきを低減するノイズ低減プログラムであって、

半導体デバイスに係る対象信号を含むと共にランダムノイズを含む低減用の解析画像を取得する低減用取得処理と、

機械学習の訓練によって予め生成される推論モデルを用いて、前記低減用取得処理によって取得された低減用の解析画像から、ランダムノイズによるちらつきが低減された推論画像を生成する画像生成処理と、

をコンピュータに実行させるノイズ低減プログラム。

[請求項14] 前記推論モデルは、請求項１に記載の学習方法によって生成される推論モデルである請求項１３に記載のノイズ低減プログラム。