(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2012-9497
(P2012-9497A)
(43)公開日　平成24年1月12日(2012.1.12)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H01L 21/027	(2006.01)	H01L	21/30	502A	2H097
H05K 3/00	(2006.01)	H05K	3/00	G	5F046
G03F 7/20	(2006.01)	G03F	7/20	506	5F146
		G03F	7/20	504	

審査請求 未請求　請求項の数 3　ＯＬ　（全 9 頁）

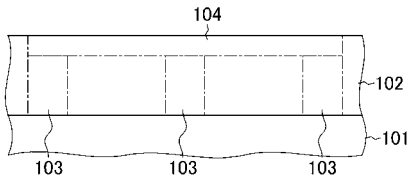
(21)出願番号　特願2010-141690 (P2010-141690)
(22)出願日　平成22年6月22日 (2010.6.22)

(71)出願人　000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目３番１号
(71)出願人　504137912
国立大学法人　東京大学
東京都文京区本郷七丁目３番１号
(74)代理人　100064621
弁理士　山川　政樹
(74)代理人　100098394
弁理士　山川　茂樹
(74)代理人　100067138
弁理士　黒川　弘朗
(72)発明者　山口　浩司
東京都千代田区大手町二丁目３番１号　日本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】微小構造体の製造方法

(57)【要約】
【課題】多くの複雑なプロセスを用いることなく、より迅速に様々な微細な立体構造が形成できるようにする。
【解決手段】レジスト膜１０２に電子ビームおよびイオンビームを照射して電子ビームが照射された第１露光部１０３およびイオンビームが照射された第２露光部１０４を形成する。なお、イオンビームの照射により第１露光部１０３を形成し、電子ビームの照射により第２露光部１０４を形成してもよい。
【選択図】　図１Ｂ



【特許請求の範囲】
【請求項１】
基板の上に電子ビームおよびイオンビームに感光するネガ型の感光性レジストを塗布してレジスト膜を形成する工程と、
前記レジスト膜に電子ビームおよびイオンビームを照射して電子ビームが照射された第１露光部およびイオンビームが照射された第２露光部を形成する工程と、
前記第１露光部および前記第２露光部が形成された前記レジスト膜を現像して前記基板の上に前記第１露光部からなる第１パターンおよび前記第２露光部からなる第２パターンより構成される立体構造を形成する工程と
を少なくとも備えることを特徴とする微小構造体の製造方法。
【請求項２】
請求項２記載の微小構造体の製造方法において、
前記レジスト膜を現像して前記立体構造を形成した後、前記立体構造を加熱する工程を備えることを特徴とする微小構造体の製造方法。
【請求項３】
請求項１または２記載の微小構造体の製造方法において、
前記第１パターンは、前記基板の上に形成された支持部であり、
前記第２パターンは、前記第１パターンの上に支持されて前記基板より離間する梁部である
ことを特徴とする微小構造体の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、微小電気機械システム、光デバイス、バイオデバイスなどの様々な分野で利用可能な微小構造体の製造方法に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
従来、このような分野の技術として、公知のリソグラフィー技術およびエッチング技術などの半導体製造プロセスを組み合わせることで、ナノメートルおよびマイクロメートルオーダーの微小な立体構造が作製されている。これらの技術では、複数のリソグラフィー工程およびエッチング工程を組み合わせた複雑なプロセスが必要であり、また、ウエットエッチング技術を用いる場合にはフッ酸などの取り扱いに注意を要する薬品が使用されている。
【先行技術文献】
【非特許文献】
【０００３】
【非特許文献１】V.Sidorkin, et al. ,"Influence of hydrogen silsesquioxane resist exposure temperature on ultrahigh resolution electron beam lithography",J. Vac. Sci. Technol. B, vol.26, no.6, pp.2049-2053, 2008.
【非特許文献２】S.Matsui, et al. ,"High-resolution focused ion beam lithography", Appl. Phys. Lett, vol53, no.10, pp.868-870, 1988.
【非特許文献３】D.Winston, et al. ,"Scanning-helium-ion-beam lithography with hydrogen silsesquioxane resist", J. Vac. Sci. Technol. B, vol.27, no.6, pp.2702-2706, 2009.
【非特許文献４】K.Tamaru, et al. ,"Direct Actuation of GaAs Membrane with the Microprobe of Scanning Probe Microscopy", Japanese Journal of Applied Physics, vol.48, 06FG06, 2009.
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】

また、多くの工程を必要とせずに微細な立体構造を形成する技術として、集束イオンビームや光を用いる技術がある。集束イオンビームを用いる技術では、原料ガスを供給している環境で集束イオンビームを照射した箇所に原料ガスの分解生成物を堆積して微細な立体構造を形成している。このため、様々な立体構造の形成が可能となる。しかしながら、集束イオンビームの照射による原料ガスの分解量は極めて微量であり、立体構造の形成に多くの時間を要することになるという問題があった。また、光を用いる技術では、光硬化性樹脂に光を照射して立体構造を形成している。しかしながらこの技術では、形成可能な構造の大きさが光の回折限界により制限されるなどの問題がある。

【０００５】

本発明は、以上のような問題点を解消するためになされたものであり、多くの複雑なプロセスを用いることなく、より迅速に様々な微細な立体構造が形成できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本発明に係る微小構造体の製造方法は、基板の上に電子ビームおよびイオンビームに感光するネガ型の感光性レジストを塗布してレジスト膜を形成する工程と、レジスト膜に電子ビームおよびイオンビームを照射して電子ビームが照射された第１露光部およびイオンビームが照射された第２露光部を形成する工程と、第１露光部および第２露光部が形成されたレジスト膜を現像して基板の上に第１露光部からなる第１パターンおよび第２露光部からなる第２パターンより構成される立体構造を形成する工程とを少なくとも備える。

【０００７】

上記微小構造体の製造方法において、レジスト膜を現像して立体構造を形成した後、立体構造を加熱する工程を備えるようにしてもよい。なお、例えば、第１パターンは、基板の上に形成された支持部とし、第２パターンは、第１パターンの上に支持されて基板より離間する梁部とすることができる。

【発明の効果】

【０００８】

以上説明したように、本発明によれば、レジスト膜に電子ビームおよびイオンビームを照射して電子ビームが照射された第１露光部およびイオンビームが照射された第２露光部を形成するようにしたので、多くの複雑なプロセスを用いることなく、より迅速に様々な微細な立体構造が形成できるという優れた効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【０００９】

【図１Ａ】図１Ａは、本発明の実施の形態１における微小構造体の製造方法の各工程における微小構造体の構成を示す断面図である。

【図１Ｂ】図１Ｂは、本発明の実施の形態１における微小構造体の製造方法の各工程における微小構造体の構成を示す断面図である。

【図１Ｃ】図１Ｃは、本発明の実施の形態１における微小構造体の製造方法の各工程における微小構造体の構成を示す断面図である。

【図２Ａ】図２Ａは、本発明の実施の形態２における微小構造体の製造方法の各工程における微小構造体の構成を示す断面図である。

【図２Ｂ】図２Ｂは、本発明の実施の形態２における微小構造体の製造方法の各工程における微小構造体の構成を示す断面図である。

【図２Ｃ】図２Ｃは、本発明の実施の形態２における微小構造体の製造方法の各工程における微小構造体の構成を示す断面図である。

【図２Ｄ】図２Ｄは、本発明の実施の形態２における微小構造体の製造方法の各工程における微小構造体の構成を示す断面図である。

【図３】図３は、実施の形態２において作製した微小構造体の走査型電子顕微鏡の観察による写真である。

【図４】図４は、第２パターン２１４を振動部とする微小機械振動子構造の共振周波数を

測定した結果を示す特性図である。
【発明を実施するための形態】
【００１０】
以下、本発明の実施の形態について図を参照して説明する。
【００１１】
［実施の形態１］
はじめに、本発明の実施の形態１について説明する。図１Ａ～図１Ｃは、本発明の実施の形態１における微小構造体の製造方法の各工程における微小構造体の構成を示す断面図である。
【００１２】
本実施の形態における微小構造体の製造方法は、まず、図１Ａに示すように、基板１０１の上に電子ビームおよびイオンビームに感光するネガ型の感光性レジストを塗布してレジスト膜１０２を形成する。
【００１３】
次に、図１Ｂに示すように、レジスト膜１０２に電子ビームおよびイオンビームを照射して電子ビームが照射された第１露光部１０３、およびイオンビームが照射された第２露光部１０４を形成する。なお、イオンビームの照射により第１露光部１０３を形成し、電子ビームの照射により第２露光部１０４を形成してもよい。
【００１４】
次に、第１露光部１０３および第２露光部１０４が形成されたレジスト膜１０２を現像し、図１Ｃに示すように、基板１０１の上に第１パターン１１３および第２パターン１１４より構成される立体構造を形成する。この現像においては、第１露光部１０３および第２露光部１０４以外の領域のレジスト膜１０２が、現像液に溶出して除去され、第１露光部１０３および第２露光部１０４が、第１パターン１１３および第２パターン１１４として残り、立体構造を形成する。
【００１５】
ここで、レジスト膜１０２は、スピンコート法，ディッピング法，およびスプレーコート法など様々なレジスト塗布技術を用いて感光性レジストを塗布することで形成すればよい。また、基板１０１の材料および感光性レジストの材料は、適宜に選択すればよい。
【００１６】
また、電子ビームおよびイオンビームの照射（露光）では、加速電圧，強度，照射時間，照射間隔，照射位置を制御することで、立体構造を形成するための各露光部の形状や、露光に要する時間を制御することができる。また、イオンビームのイオン種、イオンビームおよび電子ビームの加速電圧，ビーム強度，照射時間を制御することで、形成される立体構造の機械特性，電気特性，および組成などの材料基礎特性が制御できる。
【００１７】
また、電子ビームおよびイオンビームの照射においては、どちらの照射を先に行ってもよく、また、電子ビームの照射とイオンビームの照射とをほぼ同時に行うようにしてもよい。例えば、イオンビームの照射を行っている時間内に、電子ビームの照射を行うようにしてもよい。なお、電子ビーム露光の技術については、非特許文献１を参照されたい。また、イオンビーム露光技術については、非特許文献２，非特許文献３を参照されたい。
【００１８】
ここで、イオンビームおよび電子ビームを同時照射可能な装置としては、例えば、ＳＩＩナノテクノロジー株式会社製のＸＶｉｓｉｏｎ３００シリーズ，ＸＶｉｓｉｏｎ２００シリーズ，ＮＶｉｓｉｏｎ４０などの装置、また、株式会社日立ハイテクノロジーズ製のｎａｎｏＤＵＥ’Ｔ（登録商標）ＮＢ５０００，ＦＥＩＣｏｍｐａｎｙ製のＱｕａｎｔａ（登録商標）３Ｄシリーズ，Ｈｅｌｉｏｓ（登録商標）ＮａｎｏＬａｂシリーズ，およびＥｘｐｉｄａ（登録商標）などの装置を用いればよい。これらの装置によれば、同一の処理室内で電子ビーム照射とイオンビーム照射とを行える。
【００１９】

また、現像液を適宜に選択し、現像液における化学的特性，濃度，および温度、また、現像時間および現像雰囲気を制御することで、任意の寸法の立体構造を、任意の作製時間で形成することができる。また、形成した立体構造を加熱することで、加熱温度／加熱時間により、密度，ヤング率，硬度，内部歪，結晶性，抵抗率，誘電率，光の屈折率，光の吸収率などの、立体構造における材料基礎物性が制御できる。

【００２０】

このように、本実施の形態によれば、１回の現像処理で立体構造が形成でき、多くの複雑なプロセスを用いることなく、より迅速に様々な微細な立体構造が形成できるようになる。

【００２１】

また、本実施の形態によれば、感光性レジストおよび現像液などが用いる材料であり、この場合、例えば、酸化シリコンのエッチングなどで用いられるフッ酸などとは異なり、一般には、取り扱いが容易なものである。また、ネガ型の感光性レジストによるパターンの形成では、電子ビームおよびイオンビームを照射（露光）した領域が、現像によりパターンとなる。このため、原理的には、設計した露光領域に一致してパターンが形成できる。このため、マスクを用いたエッチングによるパターンの形成におけるアンダーカットの発生などのように、設計した寸法に対して異なる寸法に立体構造が形成されることが抑制でき、設計した立体構造の機能を阻害されることが抑制できる。

【００２２】

また、前述したように、本実施の形態によれば、電子ビームおよびイオンビームの照射条件を制御することで、立体構造の物性が制御できるので、これまで複雑で難易度の高いプロセスを用いて作製されていた歪印加機械振動子などの高い機能性を有する微小な立体構造デバイスの作製が容易になる。また、加熱処理を加えることで、これらのことがより制御性よくできるようになる。

【００２３】

［実施の形態２］

次に、本発明の実施の形態２について説明する。図２Ａ～図２Ｄは、本発明の実施の形態２における微小構造体の製造方法の各工程における微小構造体の構成を示す断面図である。

【００２４】

本実施の形態における微小構造体の製造方法は、まず、図２Ａに示すように、シリコンからなる基板２０１の上に電子ビームおよびイオンビームに感光するネガ型の感光性レジストをスピン塗布により塗布してレジスト膜２０２を形成する。このようなネガ型レジストとしては、例えば、ＨＳＱ（水素シルセスキオキサン；Hydrogen Silsesquioxane）を主成分とするものがあり、例えば、東レ・ダウコーニング株式会社製のＦＯＸ（登録商標）－１６を用いることができる。例えば、基板２０１の上にＦＯＸ－１６を供給し、この後、回転数３５００ｒｐｍ・１２０秒の条件で基板２０１を回転させることで、レジスト膜２０２が形成できる。この場合、膜厚６００ｎｍのレジスト膜２０２が形成できる。

【００２５】

次に、図２Ｂに示すように、電子ビームを照射することで、レジスト膜２０２に第１露光部２０３を形成する。ここで、電子ビームは、基板２０１の平面に対して垂直に照射する。また、レジスト膜２０２の膜厚と同じ高さに第１露光部２０３を形成するために、例えば、レジスト膜２０２の底部にまで電子ビームが到達するように、電子ビームの加速電圧を設定して上記電子ビームの照射を行う。

【００２６】

次に、図２Ｃに示すように、イオンビームを照射することで、レジスト膜２０２に第２露光部２０４を形成する。ここで、イオンビームとしては、加速電圧３０ｋｅＶのＧａ集束イオンビームを用い、ドーズ量は2.4×10^{13}ｉｏｎｓ／ｃｍ^{2}の条件とする。これは、第２露光部２０４が、レジスト膜２０２の表面近くの領域に例えば厚さ５０ｎｍ程度に形成されるようにする条件である。

【００２７】
次に、第１露光部２０３および第２露光部２０４が形成されたレジスト膜２０２を現像し、図２Ｄに示すように、基板２０１の上に第１パターン２１３および第２パターン２１４より構成される立体構造を形成する。この現像においては、例えば、現像液としてＴＭＡＨ（Tetramethyl ammonium hydroxide）の２．３８％水溶液を用いる。また、現像停止などのために、純水と２－プロパノールを体積比５：１で混合したリンス液を用いたリンス処理を行う。
【００２８】
この現像処理により、第１露光部２０３および第２露光部２０４以外の領域のレジスト膜２０２が、現像液に溶出して除去され、第１露光部２０３および第２露光部２０４が、第１パターン２１３および第２パターン２１４として残り、立体構造が形成される。本実施の形態では、第１パターン２１３として、基板２０１の上に支持部（橋脚構造）を形成し、第２パターン２１４として、第１パターン２１３による支持部の上に支持されて基板２０１より離間する梁部（架橋構造）を形成している。
【００２９】
上述した工程により実際に作製した微小構造体について説明する。図３は、上述した工程により実際に作製した微小構造体の走査型電子顕微鏡の観察による写真である。図３の写真に示すように、電子ビーム（ＥＢＬ）露光部である橋脚構造は、２０μｍ間隔で平行に配列して形成している。また、イオンビーム（ＩＢＬ）露光部である架橋構造は、平行に配列された複数の橋脚構造に渡って架橋して形成している。また、複数の架橋構造を形成し、幅１μｍ，２μｍ，３μｍ，４μｍ，５μｍに形成している。また、架橋構造は、厚さ約５０ｎｍである。
【００３０】
このように、本実施の形態によれば、様々な寸法の立体構造が形成できる。
【００３１】
次に、上述したように立体構造を形成した後、立体構造を加熱する。例えば、6×10^{-3}Ｐａの真空環境で、５００℃・３０分の加熱条件で加熱を行う。この加熱処理により、上記立体構造の硬化と、第２パターン２１４への歪印加が行える。この加熱処理により、ＨＳＱからなる立体構造（第２パターン２１４）のヤング率は、およそ９．０ＧＰａ（加熱前）から２８．４ＧＰａに増加する。このようなヤング率の増加は、ＨＳＱが硬化したことを示している。
【００３２】
上述した本実施の形態により製造した立体構造は、第２パターン２１４を振動部とする微小機械振動子構造である。この共振周波数を測定すると、図４に示すような周波数応答振動スペクトルが得られる。なお、共振周波数の測定は、ＡＦＭナノ振動計測法（非特許文献４参照）により行う。図４に示すように、本実施の形態における微小機械振動子構造の共振周波数は、７７６ｋＨｚである。この結果は、本実施の形態における微小構造体の製造方法で、微小な機械振動子が作製できることを示している。
【００３３】
また、計測された共振周波数（７７６ｋＨｚ）をヤング率２８．４ＧＰａおよび密度２．２ｇ／ｃｍ3として算出した共振周波数の理論値（４６８ｋＨｚ）と比較したところ、応力値１．０４ＭＰａ、歪０．０００３７の引張り歪みが、第２パターン２１４に印加されていることがわかった。これは、上述した現像後の加熱処理に伴うＨＳＱの伸縮により及ぼされた引張り歪みであると考えられる。この結果は、本実施の形態における立体構造の製造方法により作製した機械振動子構造体の物性が、アニール処理により制御可能であることを示している。また、本実施の形態による微小構造体の製造方法によれば、歪を印加したレゾネータの作製が可能であることを示している。
【００３４】
なお、本発明は以上に説明した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想内で、当分野において通常の知識を有する者により、多くの変形が実施可能であるこ

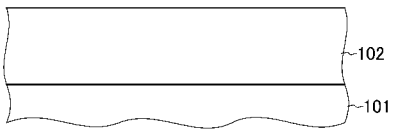
とは明白である。例えば、ネガ型レジストとして、ＨＳＱを主成分とするもの（ＦＯＸ－１６）を用いたが、これに限るものではなく、例えば、シプレー社製のＳＡＬ６０１，住友化学株式会社製のＮＥＢ－２２を用いることができる。ＳＡＬ６０１は、シプレー社製のＭＦ３１２，ＭＦ－６２２で現像すればよい。また、ＮＥＢ－２２は、ＴＭＡＨや住友化学株式会社製のＳＯＰＤＲで現像すればよい。また、ネガ型レジストとして、カリックスアレーンを用い、キシレンで現像するようにしてもよい。また、ＰＭＭＡ（polymethyl methacrylate）をネガ型レジストとして用いることもできる。この場合、ＭＩＢＫ（methyl isobutyl ketone）で現像すればよい。

【符号の説明】

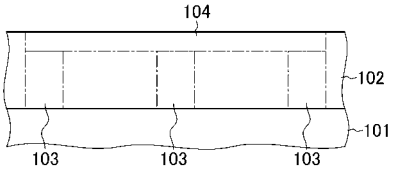
【００３５】

１０１…基板、１０２…レジスト膜、１０３…第１露光部、１０４…第２露光部、１１３…第１パターン、１１４…第２パターン。

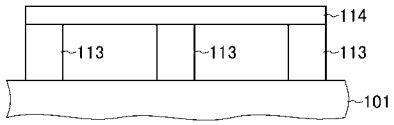
【図１Ａ】



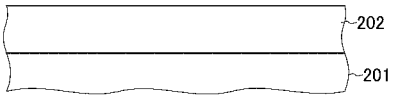
【図１Ｂ】



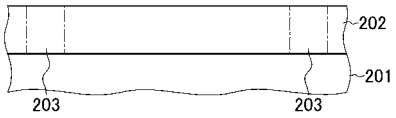
【図１Ｃ】



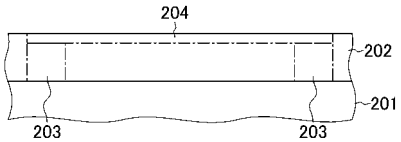
【図２Ａ】



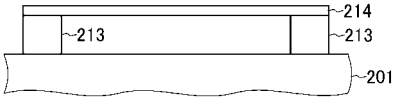
【図２Ｂ】



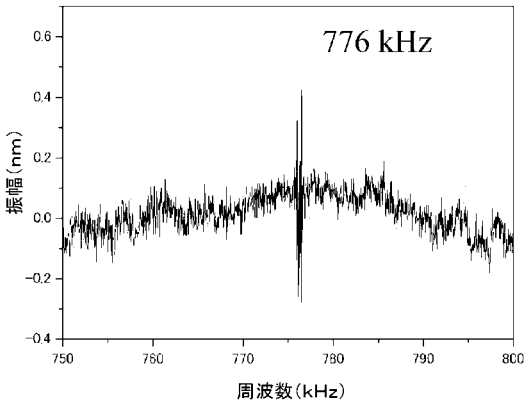
【図２Ｃ】



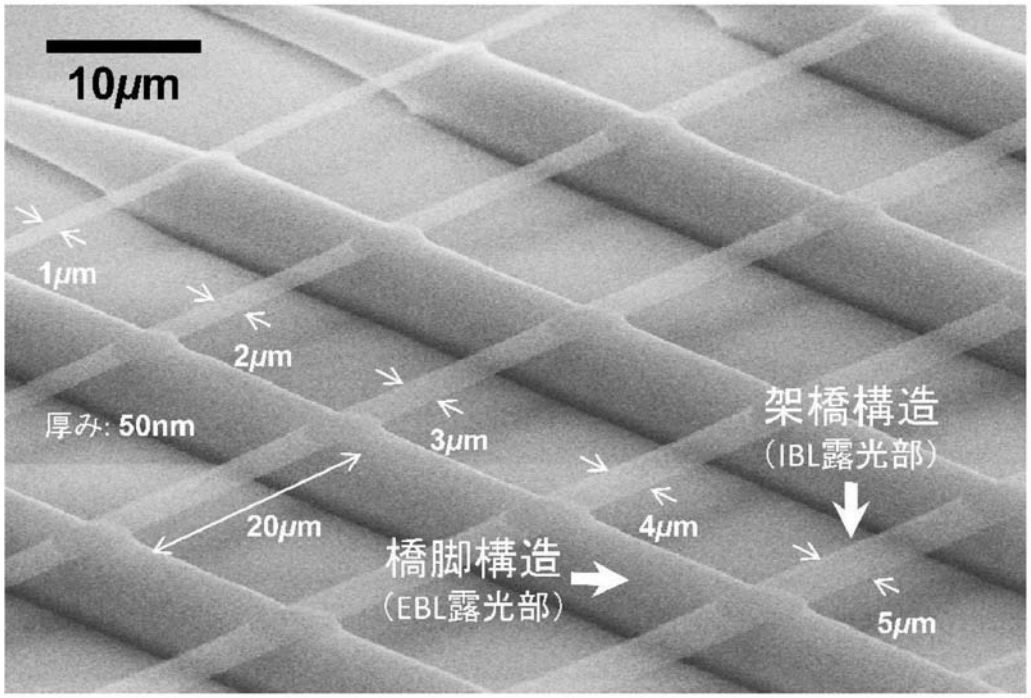
【図２Ｄ】



【図４】


776 kHz
振幅（nm）
0.6
0.4
0.2
0.0
−0.2
−0.4
750
760
770
780
790
800
周波数（kHz）

【図３】


10μm
1μm
2μm
3μm
4μm
5μm
厚み: 50nm
20μm
架橋構造
（IBL露光部）
橋脚構造
（EBL露光部）

フロントページの続き

(72)発明者　永瀬　雅夫
東京都千代田区大手町二丁目３番１号　日本電信電話株式会社内
(72)発明者　岡本　創
東京都千代田区大手町二丁目３番１号　日本電信電話株式会社内
(72)発明者　米谷　玲皇
東京都文京区本郷七丁目３番１号　国立大学法人東京大学内
(72)発明者　石原　直
東京都文京区本郷七丁目３番１号　国立大学法人東京大学内
(72)発明者　割澤　伸一
東京都文京区本郷七丁目３番１号　国立大学法人東京大学内
(72)発明者　黒田　耕平
東京都文京区本郷七丁目３番１号　国立大学法人東京大学内

Ｆターム(参考) 2H097 AA13　CA16　CA17　LA15
5F046 AA09　AA10　AA28
5F146 AA09　AA10　AA28