

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5892591号  
(P5892591)

(45) 発行日 平成28年3月23日(2016.3.23)

(24) 登録日 平成28年3月4日(2016.3.4)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 B 11/30 (2006.01)** GO 1 B 11/30 1 O 2 G  
**HO 1 L 21/304 (2006.01)** HO 1 L 21/304 6 2 2 F

請求項の数 7 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2011-266969 (P2011-266969)	(73) 特許権者	504174135 国立大学法人九州工業大学 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号
(22) 出願日	平成23年12月6日(2011.12.6)	(74) 代理人	100108660 弁理士 大川 譲
(65) 公開番号	特開2012-137484 (P2012-137484A)	(72) 発明者	カチョーンルンルアン パナート 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 国立大学法人九州工業大学内
(43) 公開日	平成24年7月19日(2012.7.19)	(72) 発明者	木村 景一 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 国立大学法人九州工業大学内
審査請求日	平成26年11月20日(2014.11.20)	(72) 発明者	鈴木 恵友 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 国立大学法人九州工業大学内
(31) 優先権主張番号	特願2010-274566 (P2010-274566)		
(32) 優先日	平成22年12月9日(2010.12.9)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元表面の計測装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

三次元の微小凹凸面の上に溶液を介して載置した溶液層定常化基板と、

前記微小凹凸面と前記溶液層定常化基板で挟まれた領域内に単一波長光のレーザ光を照射するレーザ照射部と、

前記微小凹凸面から散乱及び回折した光を光学的にフーリエ変換したフーリエ変換像を取得するフーリエ変換像取得部と、

このフーリエ変換像を光強度分布として、電気信号に光電変換する信号変換器と、

前記取得した光強度分布の波形を、基本波数及び少なくとも一つの高調波数に分解したそれぞれの波長とその振幅をスペクトル情報として抽出する演算器と、を備え、

この抽出したスペクトル情報により前記三次元の微小凹凸面の形状を評価することから成る三次元表面の計測装置。

【請求項2】

前記三次元の微小凹凸面は、ウェハを研磨中の研磨パッドの表面である請求項1に記載の三次元表面の計測装置。

【請求項3】

複数種類のコンディショナを用いてコンディショニングした研磨パッドの表面形状のフーリエ変換像をデータベース化し、かつ、研磨前後のウェハ厚を測定することにより得た研磨レートと前記データベース化したフーリエ変換像との相関を見出す請求項2に記載の三

次元表面の計測装置。

【請求項 4】

前記溶液層定常化基板は、サファイア基板である請求項 1 に記載の三次元表面の計測装置

【請求項 5】

前記レーザ照射部には、ファンクションジェネレータの出力を導くことによりパルス化したレーザ光を照射して、このパルス化レーザ光と、フーリエ変換像の取得を同期させた請求項 1 に記載の三次元表面の計測装置。

【請求項 6】

前記レーザ照射部は、単一波長光を発生させて照射するか、或いは、複数の波長を持った光発生機を用いて発生したレーザ光から、単一波長光を抽出して照射する請求項 1 に記載の三次元表面の計測装置。

10

【請求項 7】

三次元の微小凹凸面の上に溶液を介して載置した溶液層定常化基板を通して、単一波長のレーザ光を照射し、

前記微小凹凸面から散乱及び回折した光を光学的にフーリエ変換したフーリエ変換像を取得し、

このフーリエ変換像を光強度分布として電気信号に光電変換し、

前記光強度分布の波形を、基本波数及び少なくとも一つの高調波数に分解したそれぞれの波長とその振幅をスペクトル情報として抽出して、前記三次元の微小凹凸面の形状を評価することから成る三次元表面の計測方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はポリシングパッドの解析手法に利用することで、半導体や液晶製造工程における製造プロセスや実装プロセスで利用されているナノ超精密研磨の分野に利用可能の三次元表面の計測装置及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

接触型表面粗さ計測方法については、これまで接触式として、走査型トンネル顕微鏡 (STM) や原子間力顕微鏡 (AFM)、近接場走査顕微鏡 (NSOM) が公開されている。しかし、これらの方法では、非計測エリアでの表面ダメージの問題や微小領域の計測でも長時間を要する。

30

【0003】

一方、非接触型表面粗さ計測方法としては、Fraunhofer回折による超精密加工表面粗さに関する研究が報告されている (非特許文献 1)。この公知文献での解析手法は、レーザ強度の強度分布に関する議論が中心で、ポリシングパッド表面による空間波長を反映していない。さらに、これまで、ポリシングパッドの表面凹凸と研磨性能を相関づけた研究は報告されていない。半導体デバイスは、平滑平坦に仕上げられたウェハ上に集積回路の素子が構成されている。近年、ウェハの平坦度 (Site Flatness [非特許文献 1]) は 52 nm 以下に要求されている。平坦化プロセスとして、CMP (Chemical Mechanical Polishing; 化学的機械的研磨) 技術が採用されている。

40

【0004】

図 5 (A) は、従来技術による化学的機械的研磨装置を例示し、(B) は (A) 中に X 部として示す研磨パッドとウェハ間での微小領域を示す図、及びその一部を拡大して示す走査電子顕微鏡 SEM 観察像の図である。ウェハは、キャリアにより保持され、回転しているプラテンに貼り付けた研磨パッド表面上に対して荷重を受けながら回転する。同時に研磨液であるスラリー (研磨粒子が含まれる化学溶液) が研磨パッド上に供給されることにより研磨が進行する。

50

## 【 0 0 0 5 】

CMPプロセスによる材料除去現象は、スラリー中の化学溶液成分により軟弱化したウェハ表面の材料が、化学反応膜に凝着した研磨粒子および回転機構で発生したスラリー流れの機械的運動により、取り除かれることで進行すると考えられている。研磨粒子とスラリー流れの微視的挙動に直接影響する研磨パッドの表面形状（(B)のSEM観察像）は、コンディショニングに固定されたダイヤモンド粒子による加工痕として形成される。この作業をコンディショニングという。研磨パッド表面上に形成される微小凹凸は研磨特性を大きく支配しているため、高能率CMPを実現するにはその微小凹凸を定量的に評価する必要がある。しかし、コンディショニング後の研磨パッド表面凹凸が無数でランダムなため、その定量的評価法は未熟であり、確立されていない。

10

## 【 0 0 0 6 】

これまで、研磨パッドの表面形状の適正を評価する研究は（非特許文献2参照）、研磨パッドからの反射光量のみしか評価対象とされず、表面形状の空間波長とその振幅特性を評価対象とする研究例はなかった。

## 【 0 0 0 7 】

研磨パッドの表面形状の定量的解析手法として、コンディショニング後の研磨パッド（ドライ状態）を共焦点レーザ顕微鏡で三次元微小凹凸の形状を観察し、得られた複雑な表面形状を2次元フーリエ変換することにより、各空間波長における凹凸の高さ（振幅）解析を行っている[非特許文献3]。この光学的フーリエ変換像に三次元表面形状の情報を含んでいることが知られている[非特許文献4参照]。非特許文献4は、レーザ光を砥石表面に直接照射し、その反射光がフーリエ変換レンズの焦点面に作り出すパワースペクトルパターン(Fraunhofer回折像)から砥石作業面性状を評価する技術を開示する。具体的には、砥石回転中における平均パワースペクトルがその最大強度の4%になる位置(波長 $\mu_0$ )を測定することによって、この波長 $\mu_0$ に相当する砥粒切れ刃の平均逃げ面摩耗幅を定量的に求めている。

20

## 【 先行技術文献 】

## 【 非特許文献 】

## 【 0 0 0 8 】

【非特許文献1】高谷裕浩ら：Fraunhofer回折による超精密加工面粗さ測定装置の開発研究，精密工学会誌 Vol. 61, No3, (1995) pp377-381

30

【非特許文献2】H. Lee et al., Pad flattening ratio, coefficient of friction and removal rate analysis during silicon dioxide Chemical mechanical polishing, Thin Solid Films, 518(2010) pp.1994-2000.

【非特許文献3】Keiichi KIMURA, Panart KHAJORNRUNGRUANG and Takahisa OKUZONO, Evaluation Method for Conditioned Polishing Pad Surface Topography applying Fourier Transform Analysis, Proc. of the 10th International Symposium on Measurement and Quality Control (ISMQC-2010), C4-4(2010)

【非特許文献4】三好隆志，斎藤勝政：光学的フーリエ変換による砥石作業面性状の評価，精密機械48(8)，(1982) pp.67-72.

【非特許文献5】高谷裕浩，三好隆志，斎藤勝政：Fraunhofer回折による超精密加工面粗さの測定評価に関する研究，精密工学会誌 Vol. 56, No2, (1990) pp.139-146.

40

【非特許文献6】A. Taguchi et al., 3D Micro-Profile Measurement using Optical Inverse Scattering Phase Method, Annals of the CIRP, vol. 49/1/2000.

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 9 】

CMP (Chemical Mechanical Polishing) を高能率化するためには、加工工具である研磨パッドの表面形状を定量的に評価する必要がある。しかし、CMP用研磨パッド表面には、コンディショニングという表面回復操作により、数十 $\mu\text{m}$ 以下の微小凹凸がランダムで無数に存在し、表面形状を定量的に評価することが困難である。湿った状態の研磨パッドの

50

表面形状のCMPへの適正評価に光学的フーリエ変換手法を適用した例は、これまで見られない。

【0010】

そこで、本発明は光学的フーリエ変換を採用し、これまでにない、CMP用研磨パッドの複雑な表面形状を実時間でそのまま定量的に（水平および高さ方向共に）評価可能にすることを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の三次元表面の計測装置は、単一波長光のレーザ光を照射するレーザ照射部と、三次元の微小凹凸面の上に溶液を介して載置した溶液層定常化基板と、微小凹凸面から散乱及び回折した光を光学的にフーリエ変換したフーリエ変換像を取得するフーリエ変換像取得部と、このフーリエ変換像を光強度分布として、電気信号に光電変換する信号変換器と、この取得した光強度分布の波形を、基本波数及び少なくとも一つの高調波数に分解したそれぞれの波長とその振幅をスペクトル情報として抽出する演算器と、を備え、この抽出したスペクトル情報により三次元の微小凹凸面の形状を評価する。

10

【0012】

また、本発明の三次元表面の計測方法は、三次元の微小凹凸面の上に溶液を介して載置した溶液層定常化基板を通して、単一波長のレーザ光を照射し、微小凹凸面から散乱及び回折した光を光学的にフーリエ変換したフーリエ変換像を取得し、このフーリエ変換像を光強度分布として電気信号に光電変換し、この光強度分布の波形を、基本波数及び少なくとも一つの高調波数に分解したそれぞれの波長とその振幅をスペクトル情報として抽出して、三次元の微小凹凸面の形状を評価する。

20

【0013】

前記三次元の微小凹凸面は、ウェハを研磨中の研磨パッドの表面であり、また、溶液層定常化基板は、サファイア基板である。

【0014】

複数種類のコンディショナを用いてコンディショニングした研磨パッドの表面形状のフーリエ変換像をデータベース化し、かつ、研磨前後のウェハ厚を測定することにより得た研磨レートとデータベース化したフーリエ変換像との相関を見出すことができる。レーザ照射部には、ファンクションジェネレータの出力を導くことによりパルス化したレーザ光を照射して、このパルス化レーザ光と、フーリエ変換像の取得を同期させることができる。レーザ照射部は、単一波長光を発生させて照射するか、或いは、複数の波長を持った光発生機を用いて発生したレーザ光から、単一波長光を抽出して照射する。

30

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、CMP用研磨パッドの複雑な表面形状を実時間でそのまま定量的に（水平および高さ方向共に）評価することができる。これによって、半導体基板などの研磨パッドの三次元表面凹凸を瞬時に計測し、さらなる生産性が可能になる。

【0016】

また、研磨パッドとコンディショニング条件を実時間適正評価することにより、CMPプロセスの歩留まりの改善や生産性の向上、いわゆる高能率CMPを実現できる。

40

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の三次元表面の計測装置を示す概念図である。

【図2】光学的フーリエ変換の概念を説明する図である。

【図3】フーリエ変換像と研磨レートとの相関検出を説明する図である。

【図4】CMPシステムの有効性の確認を説明する図である。

【図5】（A）は、従来技術による化学的機械的研磨装置を例示し、（B）は（A）中にX部として示す研磨パッドとウェハ間での微小領域を示す図、及びその一部を拡大して示す走査電子顕微鏡SEM観察像の図である。

50

## 【発明を実施するための形態】

## 【0018】

図1は、本発明の三次元表面の計測装置を示す概念図である。単一波長光のレーザ光を発生するレーザ照射部は、研磨パッドとサファイア基板（溶液層定常化基板）で挟まれた領域内にレーザ光を照射する。或いは、複数の波長を持った光発生機を用いて発生したレーザ光から、単一波長光を抽出して照射することも可能である。これによって、単一波長光のレーザ光が、溶液層定常化基板を介して、三次元の微小凹凸面（研磨パッド表面）に照射される。

## 【0019】

レーザ照射部には、ファンクションジェネレータの出力を導くことによりパルス化したレーザ光を照射することが可能になる。このパルス化レーザ光と、フーリエ変換像の取得を同期することにより、研磨パッドの回転を停止せず、実時間評価に適用可能になる（実施例2参照）。

## 【0020】

サファイア基板（溶液層定常化基板）が、図5を参照して説明したような研磨パッド表面上のいずれかの位置において、例えば、コンディショナに隣接して設けられる。図1に示すように、このサファイア基板に対して、研磨パッドは相対移動可能である。溶液層定常化基板は、溶液（スラリー）層の厚さを薄くすることで溶液層からの不確定要素を省くためのものであり、機械的強さ（硬度）の高さからサファイア基板が望ましい。CMPプロセス中、研磨パッド表面上に溶液があるので、そのまま測定すると、液体表面形状のムラ（不規則な液面形状）により、研磨パッドの表面からの回折光が不明となる虞がある。サファイア基板を用いることにより、液体表面は基板の下面の制限で、液体表面のムラの発生を防ぐことができる。さらに、研磨中の研磨面下の研磨パッドの形状を再現し、極力研磨中の状態における研磨パッド表面の評価に近づけることができる。

## 【0021】

研磨パッドとサファイア基板で挟まれた領域内にレーザ光を照射する。照射された研磨パッド表面からの散乱・回折光は、フーリエ変換レンズ系のようなフーリエ変換像取得部で光学的にフーリエ変換されたフーリエ変換像が取得される（非特許文献5参照）。レーザビームは、ライン状或いはスポット状のいずれも可能であるが、いずれの散乱・回折光も、面状に広がる。

## 【0022】

このフーリエ変換像は、信号変換器（一般的なCCDやCMOS素子）で光強度分布として電気信号に光電変換される。それらの表面形状の情報が光強度分布として得られ、表面形状の定量的評価に用いる。フーリエ変換像取得部及び信号変換器は、それ自体は公知のCMOSカメラキットと、レンズ系によって構成できる。

## 【0023】

信号変換器からの電気信号は、演算器に導かれる。演算器は、取得した光強度分布から、微小凹凸面の表面形状の特徴をスペクトル情報として抽出する。即ち、演算器（データ処理用PC）により、表面形状の空間波長とその振幅（図2参照）（形状の高さ情報）を同時に定量的に得る。研磨パッドは金属ではないため、照射光の一部が研磨パッド内部に透過して、この透過した光が散乱光のみとして現れるが、光強度差分法により識別することができる。

## 【0024】

図2は、光学的フーリエ変換の概念を説明する図である。研磨パッド表面の2次元形状を、図中の下側に示すような形状のものと仮定し、例えば、レーザビームに対して研磨パッドを相対的にx方向に移動させることにより、図中に例示したようなx方向の光強度分布Iが得られたとする。この光強度分布Iにフーリエ変換像のパワースペクトルが比例している。この光強度分布の波形を、基本波数及び少なくとも一つの高調波数に分解したそれぞれの波長とその振幅をスペクトル情報として抽出して、このスペクトル情報により三次元の微小凹凸面の形状を評価する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 5 】

図2において、横軸は波数を示し、縦軸は振幅を表している。この光強度分布Iの波形は、基本波数 $Kx_0$ 、第2高調波数 $2Kx_0$ 、第3高調波数 $3Kx_0$ の波数（空間波長の逆数）に分解することができる。この表面形状の基本空間波長は2次元形状の基本周期に、そしてその振幅は基本周期の高さ情報に対応し、以下同様に、第2空間波長の振幅は、基本空間波長の1/2の周期の2次元形状の高さ情報に対応する。このようにして得られた各波数のそれぞれの振幅の合計を取ると、研磨パッド表面の2次元形状（水平の1方向と高さ、例えばxとz座標）になる。このように、振幅の合計により表面形状が認識できるだけでなく、各波数毎のそれぞれの振幅の値を用いて、表面形状のより詳細な解析が可能となる。

## 【 0 0 2 6 】

このようにして、三次元形状の空間波長およびその振幅の特性を総合的に評価することが可能になるが、さらに、上述した2次元形状の演算を、三次元形状（水平x, yと高さz座標）に拡張すれば、照射された面の総合的な形状を得ることも可能になる。但し、さらなる反復計算が必要となり、実時間での測定は困難と考えられる。完全な形状を再現するには、回折光波の位相の情報を光強度分布から反復計算して位相を復元する必要がある（非特許文献6）。

## 【 実施例 1 】

## 【 0 0 2 7 】

図3は、フーリエ変換像と研磨レートとの相関検出を説明する図である。各種の「コンディショナ」を用いてコンディショニングした研磨パッドの表面形状が変化したフーリエ変換像をデータベース化することにより、その特性を見出すことができる。

## 【 0 0 2 8 】

さらに、各コンディショニング条件でコンディショニングされた研磨パッドによるCMP研磨を行ない、静電容量型変位計により研磨前後のウェハ（3種類のウェハ：「銅、Si、SiO<sub>2</sub>ウェハ」）厚を測定する。その研磨レートとデータベース化したフーリエ変換像との相関を見出す。その中から各種のウェハに対して最良状態（支配的な研磨パッド表面形状の空間波長とその振幅特性）を確定することができる。

## 【 0 0 2 9 】

これによって、コンディショニング条件の違いにより、レーザ光照射された研磨パッド表面からの光学的フーリエ変換像の特性を見出し、かつ、研磨能率（主に研磨レート）と光学的フーリエ変換像の相関を見出すことができる。

## 【 実施例 2 】

## 【 0 0 3 0 】

図4は、CMPシステムの有効性の確認を説明する図である。研磨パッドが滑り移動している状態でも観察ができるよう観察ユニットを構築する。ファンクションジェネレータを導入し、レーザ光照射のパルス化を図り、観察系と同期することにより、動的観察に対応する。動的観察ユニットにより、研磨最中で得られたフーリエ変換像から研磨に適しているかどうかを、上述したデータベースを用いて判断する。適していないなら（No）、コンディショニングを行う。適している場合（Yes）、高能率CMPシステムは有効であると確認する。これによって、実時間で研磨パッドの適正評価を導入したCMPシステムの有効性を確認することができる。

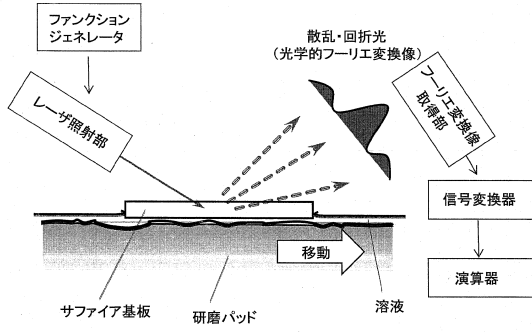
10

20

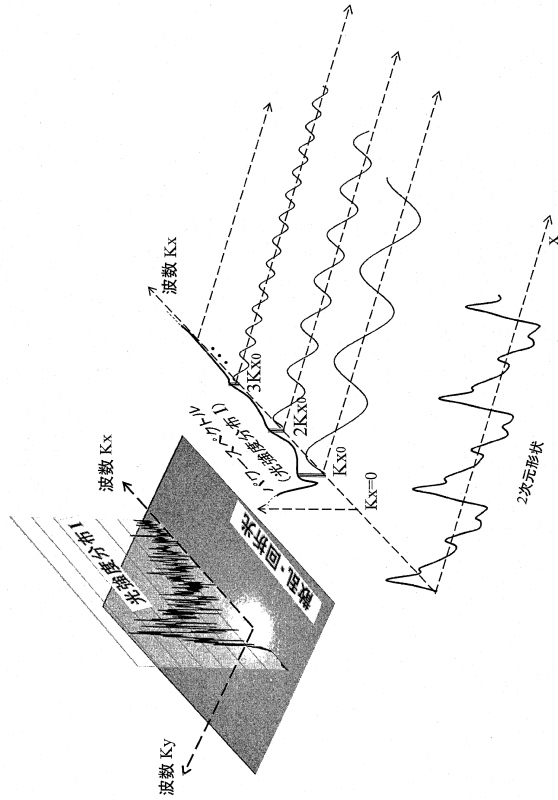
30

40

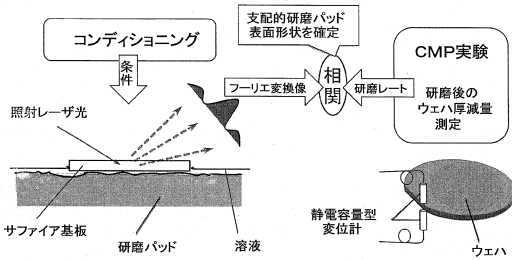
【図1】



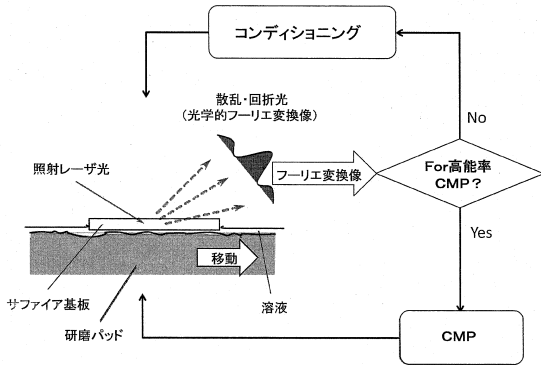
【図2】



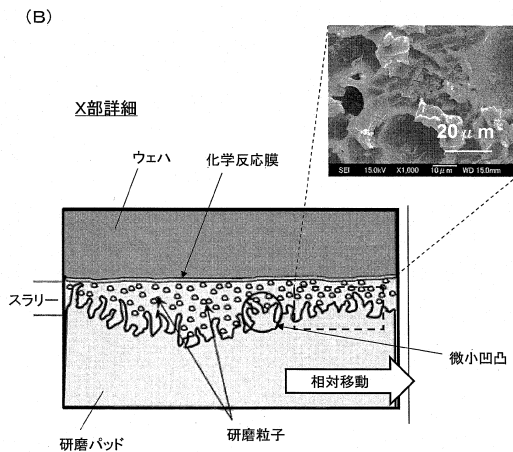
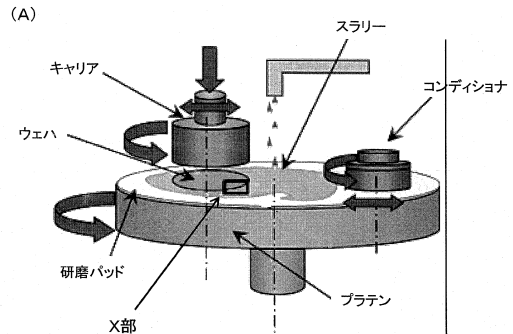
【図3】



【図4】



【図5】



---

フロントページの続き

審査官 うし 田 真悟

- (56)参考文献 特開平09-285955(JP,A)  
特開昭63-037205(JP,A)  
特開平06-347244(JP,A)  
特開2001-223190(JP,A)  
特開2007-027781(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01B 11/00-11/30  
H01L 21/304  
JSTPlus(JDreamIII)