

(19)



NL Octrooi Centrum

(11)

2001094**(12) C OCTROOI**(21) Aanvraagnummer: **2001094**

(51) Int.Cl.:

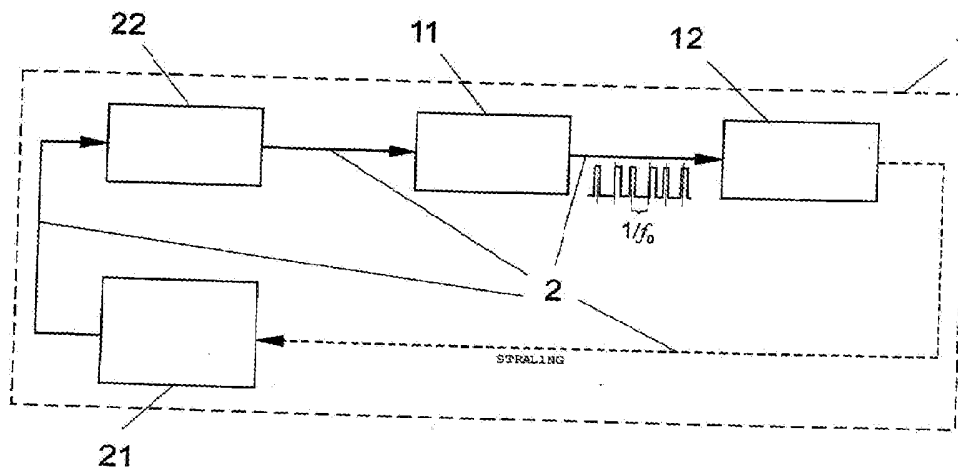
G01J 1/42 (2006.01)**G03F 7/20** (2006.01)(22) Aanvraag ingediend: **14.12.2007**(30) Voorrang:
16.12.2006 DE 10 2006 060 368

(43) Aanvraag gepubliceerd:

-

(47) Octrooi verleend:
31.01.2011(45) Octrooischrift uitgegeven:
09.02.2011(73) Octrooihouder(s):
**XTREME technologies GmbH te Jena,
BONDSREPUBLIEK DUITSLAND (DE).**(72) Uitvinder(s):
**Jesko Brudermann te Göttingen (DE).
Jürgen Kleinschmidt te Göttingen (DE).**(74) Gemachtigde:
Drs. M.J. Hatzmann c.s. te Den Haag.(54) **Werkwijze en inrichting voor het stabiliseren van het gemiddelde afgegeven stralingsvermogen van een gepulseerd uitgevoerde stralingsbron.**

(57) De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze en een inrichting voor het stabiliseren van het gemiddeld afgegeven stralingsvermogen van een gepulseerd uitgevoerde stralingsbron. Het probleem, een nieuwe mogelijkheid voor het stabiliseren van de gemiddelde afgegeven stralingsvermogen van een gepulseerd uitgevoerde stralingsbron (1) te vinden, die ook dan een betrouwbare regeling toestaat wanneer geen toereikend betrouwbare instelgrootte voor het beïnvloeden van afgegeven impulsenergie (E_i) beschikbaar is, wordt volgens de uitvinding opgelost, doordat de afzonderlijke impulsenergie (E_i) van de momentane stralingsimpuls gemeten, de afwijking van de momentane afzonderlijke impulsenergie (E_i) van een van tevoren vastgestelde doelwaarde (E_o) wordt bepaald en de impuls afstand (Δt_{i+1}) tot het aanzetten van de volgende stralingsimpuls afhankelijk van de grootte van de afwijking tussen de momentane afzonderlijke impulsenergie (E_i) en de doelwaarde van de impulsenergie (E_o) wordt aangestuurd.



NL C 2001094

Dit octrooi is verleend ongeacht het bijgevoegde resultaat van het onderzoek naar de stand van de techniek en schriftelijke opinie. Het octrooischrift wijkt af van de oorspronkelijk ingediende stukken. Alle ingediende stukken kunnen bij NL Octrooi Centrum worden ingezien.

Titel: Werkwijze en inrichting voor het stabiliseren van het gemiddelde afgegeven stralingsvermogen van een gepulseerd uitgevoerde stralingsbron.

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze en een inrichting voor het stabiliseren van het gemiddelde afgegeven stralingsvermogen van een gepulseerd uitgevoerde stralingsbron, in het bijzonder van een EUV-bron op basis van een gasontladingsplasma (GDP – gas discharge plasma) of van een laser-opgewekt plasma (LPP – laser produced plasma), van een eximerlaser, van een F₂-laser of van een andere gepulseerd uitgevoerde stralingsbron.

Een voorkeurstoepassingsgebied van dergelijke stralingsbronnen is de halfgeleiderlithografie voor het vervaardigen van elektronische schakelcircuits.

Bij de fotolithografische werkwijzen van de halfgeleiderindustrie wordt in een zogenaamde scanner een masker (met de te projecteren structuur) verkleind op het halfgeleidersubstraat (de wafer) geprojecteerd.

De kwaliteit van de fotolithografische werkwijzen wordt naast eigenschappen van het optische systeem (numerieke apertuur, scherptediepte, projectiefouten van de lenzen of van de spiegels) voornamelijk bepaald door hoe nauwkeurig een ingestraalde stralingsdosis op een constante waarde kan worden gehouden. Deze dosisstabiliteit (eng. dose accuracy) is volgens V. Banine e.a. (in: Proc. SPIE Vol 3997 (2000) 126) bepaald door:

- a) impuls-kwantificering,
- b) puls-tot-puls-stabiliteit en
- c) ruimtelijke stabiliteit van het emitterende volume.

Daarbij is de impuls kwantificering a) scannerspecifiek. Het aantal lichtimpulsen, dat tijdens een scanbeweging (eng.: scan) in de beweegbare spleet (eng.: moving split) valt, kan variëren. Een werkwijze voor het optimaliseren van de impulskwantificering is bijvoorbeeld in US

5 5,986,742-A getoond.

De factoren b) en c) zijn specifiek voor de stralingsbron zelf, waarbij de factor c) slechts van belang is voor EUV-bronnen op basis van aantoonbare fluctuaties van het stralingemitterende plasma.

Bij huidige gebruikelijke belichtingsprocessen wordt een met een
10 speciale lichtbron belicht masker verkleind op de wafer geprojecteerd. Voor de belichting worden als stralingsbronnen momenteel smal-band-eximerlasers met een golflengte van 248 nm en 193 nm gebruikt. Voorts zijn systemen op basis van F₂-laser met 157 nm in ontwikkeling en de trend naar nog kortere golflengtes wordt tegenwoordig door op plasma gebaseerde
15 EUV-stralingsbronnen met golflengtes van rond 13 nm voortgezet.

Op het waferoppervlak veroorzaakt daarbij elke stralingimpuls een stralingsvlek, die door een synchrone beweging van masker en wafer van impuls tot impuls op het waferoppervlak enigszins verschoven zichtbaar wordt.

20 Voor elke op de wafer uitgevoerde belichting van een belichtingsveld (eng.: die), dat in de regel met een schakelcircuit overeenstemt, geeft de stralingsbron een van te voren gedefinieerde impulsreeks van stralingspulsen (burst) af, waarvan telkens een aantal impulsen overeenkomstig de snelheid van de beweging, verkleining van de
25 afbeeldende optiek en van de belichtingsveldgrootte, aan de gehele belichting van de fotogevoelige laag op een bepaalde plaats op het waferoppervlak bijdragen.

Met betrekking tot de dosisstabiliteit (op een bepaalde plek op het oppervlak van de wafer) stellen de chipsproducenten buitengewoon hoge
30 eisen aan de puls-tot-puls-stabiliteit. Deze wordt uitgedrukt in de

standaardafwijking σ van de momentane impulsenergie van zijn gemiddelde waarde of van een doelwaarde (set-energy) van de impulsenergie. Bij DUV- en VUV-lithografie worden voor smal-band-eximerlasers dosisstabiliteiten $\sigma_D < 1.5\%$ vereist, terwijl voor de EUV-lithografie zelfs dosisstabiliteit van

5 $\sigma_D < 0,3\%$ worden vereist.

Deze eisen kunnen slechts door een actieve regeling van het stralingsvermogen op een puls-tot-puls-basis worden vervuld. Alle tot nu toe bekende werkwijzen gebruiken hierbij een variatie van de doelwaarde van de afzonderlijke impulsenergie van de volgende impuls $E_{S,i+1}$

$$10 \quad E_{S,i+1} = f(E_0, E_i, E_{i-1}, E_{i-2}, \dots, E_{S,i}, E_{S,i-1}, E_{S,i-2}, \dots, i+1, \dots), \quad (1)$$

Waarbij E_0 de vereiste gemiddelde afzonderlijke impulsenergie, E_i de daadwerkelijke energie van de voorgaande impulsen, $E_{S,i}$ de betreffende doelwaarde van de afzonderlijke impulsenergie van de voorgaande impuls, $i+1$ het nummer van de volgende impuls binnen de burst en $f(\dots)$ een

15 mathematische vergelijking is, die beschrijft hoe uit de voorgenoemde waarden de volgende doelwaarde kan worden bepaald – dus de implementering van het telkens gebruikte regelalgoritme (bijv. PID regeling etc.)

Een duidelijke werkwijze wordt bijvoorbeeld in de US 5,608,492

20 voorgesteld. Hier wordt een puls-tot-puls-energieregeling beschreven die zich baseert op een gesloten regelkring uit lichtenergie, lichtimpulsenergiemeting, vaststelling van de laadspanning van het aansturende laser en vernieuwde lichtemissie. Daarbij komt deze overeen met het regel principe overeenkomstig vergelijking (1).

25 Het wordt hierbij aan de ervaring van de betreffende constructeur overgelaten, op een geschikte manier de samenhang $g_n(\dots)$ tussen de doelwaarde van de energie voor de volgende impuls $E_{S,i+1}$ en één of meer geschikte instelgrootheden $S_{n,i+1}$ (bijv. de laadspanning bij een gasontladingsuitgevoerde stralingsbron) te vinden.

$$S_{n,i+1} = g_n(E_{S,i+1}) \quad (2)$$

In de functie(s) $g_n(\dots)$ kunnen daarbij verdere afhankelijkheden optreden waarvan het systeem kennis heeft. Voorbeelden worden in verdere publicaties beschreven.

Zo toont de DE 10 209 161 A1 een regelingswerkwijze voor een gepulseerde stralingsbron, die in staat is de proportionaliteitsfactor van een proportionele regeling continu opnieuw uit de vorige meetwaarden voor de impulsenergie en de instelgrootheid (de laadspanning) te bepalen en daarmee de regeling preciezer te maken.

Het US octrooi US 6,005,879 A beschrijft een concrete uitvoering van een eximerlasersysteem. Hier wordt de regeling geoptimaliseerd door een beter begrip van de samenhang tussen de laadspanning en het effect op de impulsenergie van de laser. Ook deze regeling valt daarmee onder de algemene afhankelijkheid $g_n(\dots)$.

Verder beschrijft de DE 102 19 805 A1, dat ook meer dan een instelgrootheid $S_{n,i+1}$ (hier de laadspanning en gasdruk) kunnen worden geregeld.

Andere werkwijzen, zoals bijvoorbeeld in de DE 10 244 105 B3 worden beschreven, houden zich bezig met het optimaliseren van het regelalgoritme tijdens de eerste impuls van een burst, om transiënte effecten in de beginfase te kunnen compenseren.

Al deze voorgenoemde werkwijzen hebben gemeenschappelijk, dat ze zich baseren op een bewuste verandering van de doelwaarde voor de volgende stralingsimpuls. De afzonderlijke publicaties verschillen slechts in de wijze waarop de volgende energiewaarde wordt bepaald of hoe de stralingsbron wordt aangestuurd, om de volgende lichtimpuls mogelijk precies aan de impulsenergie-doelwaarde aan te passen.

In de US 6,456,363 B2 wordt een inrichting gepubliceerd, die een impulslichtbron voor het emitteren van lichtimpulsen met een veranderlijke lichthoeveelheid omvat. Daarbij worden de intensiteiten van de lichtimpuls gemeten en de op het doel (Masker) overgebrachte intensiteit door middel
5 van een veranderlijke lichtreduceereenheid aangestuurd.

Een verbeterde inrichting daartoe wordt in de US 6,496,247 B2 beschreven waarbij hier ook met de afstanden van de lichtimpulsen rekening wordt gehouden, doordat eerst een impulsenergiemeting wordt uitgevoerd, vervolgens wordt berekend hoeveel impulsen voor de benodigde
10 dosis op het belichtingsvlak worden vereist en uit het tijdsverloop van de impulsen de scansnelheid over het masker en de wafer wordt vastgelegd. Staat de scansnelheid vast dan wordt bij voorkeur de lichtintensiteit met een fijnfiltering zodanig ingesteld, dat geen verandering van het aantal impulsen noodzakelijk is. Indien aan andere kant de gemiddelde
15 lichthoeveelheid echter kleiner wordt kan het impulsgetal met één worden verhoogd om de benodigde dosis te bereiken.

Een overeenkomstige manier beschrijft ook US 6,538,723 B2, waarbij na meting van de ingestraalde impulsenergie en de vaststelling van de impulsfrequentie van de voorgaande impulsen voor de volgende impuls
20 de impulsenergie wordt aangepast zodat de scansnelheid gelijk kan blijven.

De drie voornoemde publicaties hebben het nadeel, dat voor de instelling van de benodigde dosis en voor het bereiken van de nodige dosisnauwkeurigheid bij een van tevoren ingestelde scansnelheid en een van te voren vastgestelde aantal impulsen in de vensterfunctie van het te
25 belichten bereik slechts uit de vastgestelde gemiddelde impulsenergie op het waferoppervlak de impulsenergie expliciet kan worden aangepast. De frequentie van de stralingsimpulsen wordt weliswaar meegenomen om afhankelijk van de beschikbare impulsenergie de benodigde dosis zeker te bereiken, deze wordt echter voor het belichtingsproces constant gekozen om

voor het bereiken van de dosisnauwkeurigheid uitsluitend de impulsenergie door middel van een fijnafgesteld instelbaar extinctiefilter te regelen.

In veel gevallen kan er echter geen geschikte betrouwbare afhankelijkheid $g_n(\cdot)$ worden gevonden, die een snelle puls-tot-puls-regeling van de impulsenergie toestaat. Met name kan de in alle voorgenoemde regelingswerkwijzen gebruikte aansturing van de laadspanning voor de gasontlading falen, wanneer bijvoorbeeld de projectie-eigenschappen van het optische systeem de in het waferoppervlak gemeten stralingsintensiteit mede beïnvloeden.

Zo wordt, met name bij plasmagebaseerde stralingsbronnen die naast de tijdsafhankelijke energief fluctuatie ook ruimtelijke fluctuaties van het plasma tonen, de anders normaalgesproken goede correlatie tussen de laadspanning en de impulsenergie gevoelig gestoord waardoor de toename van de in het plasma gegenereerde energie door de ruimtelijke verandering van het plasma (bijv. door de etendue-beperking van het optische systeem) onderweg naar de wafer verloren gaat. Een regeling van de impulsenergie door aansturing van de laadspanning leidt in een dergelijk geval niet tot succes.

Voorts kan de, voor de succesvolle regeling benodigde vergelijking $g_n(\cdot)$ aan tijdsafhankelijke variaties zijn blootgesteld, die het regelalgoritme onbekend zijn. Dit leidt automatisch tot een extra onnauwkeurigheid van de regeling.

De uitvinding heeft als grondslag het doel, een nieuwe mogelijkheid voor de stabilisering van het gemiddelde afgegeven stralingsvermogen van een gepulseerd bediende stralingsbron te vinden die eveneens een betrouwbare regeling toestaat, wanneer er bij de ter beschikking staande instelgrootheden geen toereikend betrouwbare correlatie tussen instelgrootheden en de verwachtingswaarde van de afzonderlijke impulsenergie voor de opvolgende stralingsimpuls beschikbaar is.

Op inventieve wijze wordt het doel bij een werkwijze voor het stabiliseren van het gemiddelde afgegeven stralingsvermogen van een gepulseerd bediende stralingsbron, meer specifiek van eximerlasers, F2-lasers of EUV-stralingsbronnen op basis van een heet plasma gerealiseerd door de volgende werkwijzestappen:

- het meten van de afzonderlijke impulsenergie van de momentane stralingsimpuls,
- het vaststellen van de afwijking $\Delta E = E_i - E_0$ van de momentane afzonderlijke impulsenergie E_i van een van tevoren vastgestelde doelwaarde E_0 van de impulsenergie,
- het, afhankelijk van de grootte van de afwijking van de momentane afzonderlijke impulsenergie van de doelwaarde van de impulsenergie, besturen van de impulsafstand tot het aanzetten van de volgende stralingsimpuls.

Bij voorkeur wordt door een op de juiste tijd programmeren van een snelle trigger de volgende impuls des te eerder aangezet, des te groter de negatieve afwijking, en des te later in werking gesteld des te groter de positieve afwijking van de doelwaarde van de impulsenergie door de momentane afzonderlijke impulsenergie wordt gegeven.

De impulsafstand in de tijd tussen de volgende impuls en de momentane impuls wordt voor dit doel bepaald onder het gebruik van de gemiddelde (nominale) volgfrequentie f_0 van de stralingsbron, de vereiste doelwaarde van de impulsenergie en de gemeten afzonderlijke impulsenergie van actuele impuls met de vergelijking

$$\Delta t_{i+1} = E_i / (f_0 \cdot E_0)$$

Voor de werkwijze volgens de uitvinding is het voordelig, wanneer een lithografisch belichtingssysteem voor de waferbelichting wordt gebruikt dat een vensterfunctie omvat die geen steile begin- en eindcurven van de

stralingsintensiteit heeft, waarbij de vensterfunctie vastlegt hoeveel afzonderlijke impulsen hoe sterk uitwerken en hoe de stralingsintensiteit van de afzonderlijke impulsen langs een scan-as op de wafer plaatselijk is verdeeld.

- 5 Voor dit doel wordt daarbij de vensterfunctie uit de ruimtelijke verdeling van de stralingsintensiteit van een afzonderlijke impuls over van de scan-as gedefinieerd als

$$\int w(x - x_0) dx = 1,$$

- 10 waarbij de plaats x door het product uit de scansnelheid v en de tijd t wordt vervangen en de gezamenlijke stralingsdosis D op een bepaalde plaats op de wafer als

$$\begin{aligned} D &= \int w(v \cdot t - v \cdot t_0) P(t) dt \\ &= \sum w(v \cdot t_i - v \cdot t_0) E_i \end{aligned}$$

wordt berekend.

- 15 Als doelmatige vensterfunctie van ten minste 30 impulsen kunnen bij benadering gelijkwaardig een Gauss-functie, een driehoeksfunctie of een trapeziumfunctie worden ingezet.

- Voor de compensatie van een zogenaamd overshoot- of undershoot-gedrag van de impulsenergie binnen de beginfase van een burst worden bij voorkeur het gemiddelde stralingsvermogen in de momentane burst onder
20 toepassing van van tevoren opgeslagen impulsenergiewaarden van tenminste één niet geregelde voorbeeld-burst ten grondslag gelegd en daaruit de impulsafstanden overeenkomstig de afwijking van de instelbare gemiddelde impulsenergie berekend.

- 25 Daarbij wordt de impuls afstand tot de volgende impuls bij voorkeur volgens de formule

$$\Delta t_{i+1}(k) = \frac{1}{f_0} \cdot \frac{E_i(k)}{E_0} \cdot \frac{\langle E_{i+1}(j) \rangle}{\langle E_i(j) \rangle}$$

verkregen, waarbij de gemiddelde impulsenergiewaarden $\langle E_i(j) \rangle$ van tenminste één ongeregelde voorbeeld-burst worden gebruikt. Er kunnen voor $\langle E_i(j) \rangle$ ook gemiddelde impulsenergiewaarden uit meerdere ongeregelde voorbeeld-bursts worden gebruikt.

- 5 Doelmatig wordt bij een ongeregelde voorbeeld-burst van tevoren onder de zelfde beginvoorwaarden en het hetzelfde burst-patroon zoals de te regelende momentane burst opgenomen en opgeslagen.

De voorbeeld-bursts daarvoor worden bij voorkeur in een afzonderlijk calibratieregim met meerdere verschillende begincondities en
10 van tevoren vast ingestelde burst-patronen opgewekt en opgeslagen.

Voor opname van de impulsenergiewaarden van de voorbeeld-bursts wordt de stralingsopwekkingseenheid bij voorkeur met de van tevoren vast ingestelde waarden van de laadspanning en van de gascondities uitgevoerd.

- 15 Het doel van de uitvinding wordt voorts bij een inrichting voor het stabiliseren van het gemiddelde afgegeven stralingsvermogen van een gepulseerd uitgevoerde stralingsbron, meer specifiek van eximerlasers, F₂-lasers of EUV-stralingsbronnen gebaseerd op een heet plasma, bestaande uit een stralingsopwekkingseenheid die stralingsimpulsen met een hoge
20 impulsfrequentie opwekt, een meeteenheid voor het meten van de afzonderlijke impulsenergie van elke impuls en in een gesloten regelkring voor het aansturen van instelgrootheden van de stralingsopwekkingseenheid, die een aansturing van de opvolgende impuls op basis van de impulsenergiemetingen van tenminste één voorafgaande
25 impuls mogelijk maakt, daardoor bereikt, dat de aansturingseenheid voor het regelen van de impulsfrequentie beschikbaar is, die met de meeteenheid voor het meten van de impulsenergie van het van de momentane impuls verbonden is en die aan de uitgang een sturingssignaal omvat, dat op basis van een afwijking van de gemeten afzonderlijke impulsenergie van de
30 momentane impuls van een gewenste doelwaarde van de impulsenergie is

verkregen en een maat voor de afstand van de volgende impuls ten opzichte van de momentane impuls genereert en dat een programmeerbare trigger voor een snelle verandering van het tijdstip van de impulsaanzet tussen de aansturingseenheid en de stralingsopwekkingseenheid is ingericht
 5 waarmee het tijdstip van de aanzet van de volgende impuls afhankelijk van het uitgangssignaal van de aansturingseenheid ten opzicht van de nominale impuls frequentie is te veranderen.

Bij voorkeur is de meeteenheid in een afzonderlijk meetkanaal aan de stralingsopwekkingseenheid aangesloten waarbij in het afzonderlijke
 10 meetkanaal tenminste de etendue van de optische overdrachtssystemen, die tussen de stralingsopwekkingseenheid en een toepassingslocatie van de straling beschikbaar zijn, gelijkwaardig is uitgevoerd. In een verdere doelmatige variant is de meeteenheid na de optische overdragingssystemen die tussen de stralingsopwekkingseenheid en een toepassingsplaats van de
 15 straling beschikbaar zijn ingericht om de reële opbrengst van impulsenergie van de momentane impuls op de toepassingsplaats vast te leggen. Bij voorkeur is de meeteenheid in een lithografisch belichtingssysteem voor de halfgeleiderchipproductie in de buurt van het te belichten oppervlak van een wafer of een daarmee geconjugeerd oppervlak aangebracht.

20 De uitvinding steunt op de overweging dat de op het object (wafer) aankomende stralingsdosis, waarvoor bij de halfgeleiderchipproductie zeer nauwe variatiegrenzen zijn vereist, niet alleen door de van de stralingsopwekkingseenheid uitgestraalde afzonderlijke impulsenergie wordt bepaald maar ook bepaalde eigenschappen van de lichtweg van de
 25 belichtingsstralen, met name bundelbegrenzingsen van de overdrachtsoptiek een beslissende rol spelen. Hierdoor gaan met name bij bronnen die hun straling uit een pulserend gegenereerd plasma emitteren aanzienlijke delen van de impulsenergie wegens de toevallige ruimtelijke veranderingen van de bronpositie verloren. Deze stralingsverliezen in de optische lichtweg zijn
 30 echter niet proportioneel ten aanzien van de te emitteren impulsenergie van

de bronmodule en daarmee niet met de normaal betrouwbare proportioneel
 regeling van de hoogspanning voor het opwekken van het plasma
 compenseerbaar. De toepassing van andere of extra regelgrootheden leidt
 tot geen causale vermindering van de dosisvariatiën. De uitvinding lost dit
 5 probleem op doordat niet de energie van een afzonderlijke impuls als
 regelgrootte wordt gekozen, maar dat tijdsafhankelijke maatregelen van
 het stralingsvermogen (dus van het quotiënt van de impulsenergie en de
 tijdsafhankelijke afstand tot de volgende impuls) door het aanpassen van de
 tijdsafhankelijke afstand tussen twee stralingsimpulsen wordt gebruikt.

10 Ten aanzien van een precies gedoseerde belichting bij een
 lithografische scanner moet in het wafervlak het gemiddelde vermogen
 mogelijk constant blijven, waarbij het gemiddelde stralingsvermogen is
 gedefinieerd door

$$\bar{P} = \frac{1}{t_{i+1} - t_i} \int_{t_i}^{t_{i+1}} P(t) dt. \quad (3)$$

15 Op precies het tijdsbereik tussen het begin van een afzonderlijke
 impuls t_i tot precies voor het begin van de volgende afzonderlijke impuls t_{i+1}
 wordt dit

$$\bar{P}_i = \frac{1}{\Delta t_{i+1}} E_i, \quad (4)$$

20 waarbij E_i de energie van de in het interval liggende impuls is en
 Δt_{i+1} de duur van het tijdsinterval is. Deze vergelijking toont dat het
 gemiddelde vermogen $\bar{P}_i$ door verandering van Δt_{i+1} op dezelfde manier op
 een puls-tot-puls-basis geregeld kan worden als door verandering van $E_{S,i+1}$.

25 Met de uitvinding is het mogelijk het gemiddeld afgegeven
 vermogen van een gepulseerd uitgevoerde stralingsbron, in het bijzonder
 van eximerlasers, F₂-Lasers en EUV-stralingsbronnen op basis van
 Gasontladingsexcitatie of laserexcitatie zodanig te stabiliseren dat er ook dan
 een betrouwbare regeling wordt bereikt, wanneer bij de ter beschikking

staande instelgrootheden geen voldoende betrouwbare correlatie tussen instelgrootheid en verwachtingswaarde van de afzonderlijke impulsenergie beschikbaar is. Verder verschaft de oplossing volgens de uitvinding beduidend nauwkeurigere resultaten, omdat de instelling van het

- 5 triggertijdpunt in het verband van de vereiste nauwkeurigheid niet van statistische storingsgrootheden afhankelijk is, zoals het bij de aansturing van de instelgrootheden voor de stralingsopwekking voor het aanpassen van de afzonderlijke impulsenergie het geval is.

De uitvinding wordt hierna aan de hand van

- 10 uitvoeringsvoorbeelden verder toegelicht. De tekening toont in:
- fig. 1: een blokschema van de werkwijze volgens de uitvinding,
 - fig. 2: een blokschema van de werkwijze volgens de uitvinding waarbij het meten van de impulsenergie op de plaats van de belichting in het belichting systeem (na het doorlopen van meerdere optische systemen) plaatsvindt,
 - 15 fig. 3: een weergave van het regelingsprincipe volgens de uitvinding ter compensatie van de variaties van de impulsenergie door een aangepaste vertraging van de impulsaanzet afhankelijk van een afwijking van de impulsenergie van de doelwaarde,
 - 20 fig. 4: een resulterende verdeling van de tijdsafstanden tussen de impulsen (vertraging), bij een bron met een standaardafwijking van de puls-tot-puls-energie van $\sigma = 7\%$ en een gemiddelde volgfrequentie van 5 kHz,
 - fig. 5: een schematische weergave van de tijdsafloop voor het aansturen volgens de uitvinding van de veranderlijke triggering van de stralingsimpulsen,
 - 25 fig. 6a: een meetdiagram van de impulsenergie van ongeregelde voorbeeldburst met een aanvankelijke overschoot als ook een daaruit gevormde gemiddelde voorbeeld-burst,

fig. 6b: een weergave van de berekende impuls afstanden Δt_{i+1} ter compensatie van de impulsenergie-overshoot van fig. 6a voor een burst met een gelijkblijvend gemiddeld stralingsvermogen.

5 De werkwijze voor het stabiliseren van het gemiddeld afgegeven stralingsvermogen van een gepulseerd uitgevoerde stralingsbron bij voorkeur van eximerlasers, F₂-lasers of EUV-stralingsbronnen op basis van een heet plasma, omvat – zoals uit de regelschema's van fig. 1 en fig. 2 afleidbaar – de volgende stappen:

- 10 - het meten van de afzonderlijke impulsenergie E_i van een momentane stralingsimpuls,
- het vaststellen van de afwijking $\Delta E = E_i - E_0$ van de momentane afzonderlijke impulsenergie E_i van een van te voren ingestelde doelwaarde van de afzonderlijke impulsenergie,
- 15 - het, afhankelijk van de grootte van afwijking van de momentane afzonderlijke impulsenergie E_i van de doelwaarde E_0 aansturen van de impuls afstand Δt_{i+1} tot aan het aanzetten van de volgende stralingsimpuls.

Door het programmeren van de snelle trigger 11 wordt de volgende impuls des te vroeger aangezet, des te groter de negatieve afwijking en des te later aangezet, des te groter de positieve afwijking van de doelwaarde E_0 van de afzonderlijke impulsenergie door de momentane afzonderlijke impulsenergie E_i wordt doorgegeven. Bij het bereiken van de doelwaarde E_0 wordt de trigger 11 op de van tevoren gekozen gemiddelde volgfrequentie f_0 ingesteld.

25 Hiervoor wordt de tijdsgebaseerde impuls afstand Δt_{i+1} van de volgende impuls van de momentane impuls door het gebruik van de gemiddelde volgfrequentie f_0 , de vereisten doelwaarde E_0 van de impulsenergie en van de gemeten afzonderlijke impulsenergie E_i van de momentane afzonderlijke impuls in de aansturingseenheid 22 met het

30 berekeningsmodel

$$\Delta t_{i+1} = E_i / (f_0 \cdot E_0)$$

bepaald.

Voor het regelen van het gemiddelde stralingsvermogen van de stralingsbron 1 wordt – zoals in fig. 1 is getoond – een gesloten regelkring 2
5 in de stralingsbron geïmplementeerd.

Het essentiële verschil met bekende regelingen van gasontladingsuitgevoerde stralingsbronnen, die bij voorkeur de laadspanning aansturen bestaat hier uit de interface van de aansturingseenheid 22.

10 In alle tot nu toe bekende werkwijze draagt een aansturingscomputer de verkregen waarde van de laadspanning over aan een programmeerbare hoogspanningsimpulsgenerator. Daarentegen wordt volgens de uitvinding het resultaat van de energiemeting aan de uitgang van de meeteenheid 21 voor de berekening van een veranderende
15 impulsafstand Δt_{i+1} in de aansturingseenheid 22 gebruikt, om de programmeerbare trigger 11 aan te sturen, die het aanzetten van de volgende impuls van de stralingsopwekkingseenheid 12 van de stralingsbron 1 tijdsafhankelijk vertraagd of vervroegd aanzet.

Volgens figuur 1 bestaat de regelkring 2 ten minste uit de volgende
20 componenten:

a) meeteenheid 21 voor het meten van de afzonderlijke impulsenergie, omvattend een stralingsgevoelige sensor en een meetwaarde-omvormer voor het omvormen van de meetwaarde in een door de aansturingscomputer verwerkbaar gegevensformaat;

25 b) aansturingseenheid 22 (aansturingscomputer) voor het uitvoeren van het regelalgoritme;

c) programmeerbare triggergenerator 11, die de te veranderen tijdsnauwkeurige aanzet van de volgende afhankelijke impuls uitvoert;

d) stralingsopwekkingseenheid 12 voor het opwekken van stralingsemitterende plasma, bijvoorbeeld een ontladingseenheid van een gasontladingsuitgevoerde EUV-stralingsbron 1; en

e) een optische weg van de stralingsbron 1 tot de meet eenheid 21.

5 Al naar gelang de implementatie van de regelkring 2 bestaat de mogelijkheid de meting van de afzonderlijke impulsenergie naar keuze direct aan de stralingsbron 1 uit te voeren (fig. 1) of buiten de stralingsbron 1, bijvoorbeeld binnen een lithografisch belichtingssysteem 3 (scanner), in te richten (fig. 2). Daarbij bevindt de meeteenheid 21 zich telkens in een met
10 het waferoppervlak geconjugeerde vlak en bepaald de afgegeven stralingsenergie van de afzonderlijke stralingsimpulsen. Volgens de uitvoering van fig. 2 worden in het bijzonder ook die invloeden van de optische overdrachtssystemen 31 die tussen de stralingsbron 1 en het af te beelden masker en het waferoppervlak gebruikt worden, meegenomen.

15 Het essentiële principe van de regeling toont fig. 3 in een schematische weergave van de impulsenergie ten opzichte van de tijdsas. Uitgaande van een gewenste gemiddelde volgfrequentie f_0 van de stralingsimpulsen van de stralingsbron 1 wordt de impulsafstand Δt_i tussen twee impulsen afhankelijk van de grootte van de afwijking van de
20 stralingsenergie E_i van de momentane impuls van de van de voren ingestelde doelwaarde E_0 van de impulsenergie aangestuurd door het berekenen van een aangepaste impuls afstand Δt_{i+1} tot de volgende impuls met een impulsenergie E_{i+1} wordt aanzet.

25 De impuls afstand Δt_{i+1} valt des te kleiner uit, des te meer de doel energiewaarde E_0 door die impulsenergie E_i van de momentane impuls naar beneden afwijkt. Hij vergroot zich des te meer, des te meer de doelenergie E_0 door de momentane impulsenergie E_i wordt overschreden. Zou de doelenergie E_0 in de momentane impuls worden bereikt dan wordt de impuls afstand met $1/f_0$ op de gewenste gemiddelde volgfrequentie f_0 ingesteld.

Bij het gebruik van deze werkwijze wordt de te bereiken dosisstabiliteit op de wafer door een zogenaamde vensterfunctie (Eng. Window function) van het belichting system 3 bepaald. De vensterfunctie definieert hoeveel afzonderlijke impulsen hoe sterk aan de gezamenlijke stralinghoeveelheid op een bepaalde plaats van de wafer bijdragen en beschrijft de plaatselijke verdeling van de stralingsintensiteit van een afzonderlijke impulsen langs de scan-as $w(x-x_0)$.

Per definitie geldt voor de vensterfunctie

$$\int w(x-x_0) dx = 1.$$

Omdat de plaats x via de scansnelheid v door middel van de vergelijking $x = v \cdot t$ in een tijd kan worden omgerekend, wordt de totale stralingsdosis D op een bepaalde plaats op de wafer bepaald door

$$\begin{aligned} D &= \int w(v \cdot t - v \cdot t_0) P(t) dt \\ &= \sum w(v \cdot t_i - v \cdot t_0) E_i \end{aligned} \quad (5)$$

afhankelijk daarvan, of een continue lichtgevende of een gepulseerde stralingsbron bekeken wordt.

Omdat de exacte statistische bepaling van de dosisfout uit de ruis ingewikkeld en moeilijk blijkt te zijn, kan de dosisfout bij voorkeur ook door een numerieke simulatie van een, met de werkwijze volgens de uitvinding geregelde stralingsbron 1 worden bepaald.

In de simulatie wordt vervolgens door het gebruik van de vergelijking (5), de volgorde van alle E_i en t_i bepaald en daarna wordt, afhankelijk van de plaats op de wafer $D(x)$ of $D(v \cdot t)$, de in dit geval optredende dosis bepaald. De dosisstabiliteit σ_D volgt hier uit als gemiddelde kwadratische afwijking van de dosis van de doelwaarde D_0 :

$$\sigma_D = \frac{1}{x} \sqrt{\int (D(x) - D_0)^2 dx}. \quad (6)$$

Een belangrijke factor voor de nauwkeurigheid van de belichtingsdosis is het gebruikte regelalgoritme. Bij voorkeur wordt het zo gekozen dat het

- (a) een mogelijk hoge stabilisering van de dosis bereikt en
- 5 (b) mogelijk weinig rekenkracht van de aansturingseenheid 22 nodig heeft

Bij voorkeur wordt eenvoudige versie van een PI-regelaar gebruikt die in elke volgende impuls probeert de fout van de voorgaande impuls uit te middelen. Daarmee verkrijgt het regelalgoritme de volgende opstelling:

$$\begin{aligned}
 \Delta t_{i+1} &= \Delta t_0 + \Delta(\Delta t_i) \\
 &= \Delta t_0 + \Delta t_0 \cdot \frac{E_i - E_0}{E_0} \\
 &= \Delta t_0 \cdot \frac{E_i}{E_0} \\
 &= \frac{1}{f_0} \cdot \frac{E_i}{E_0}
 \end{aligned} \tag{7}$$

10

de impuls afstand Δt_{i+1} tot de volgende impuls van daarmee direct uit de gewenste gemiddelde volgfrequentie f_0 van de bron, alsook van de impulsenergie van de laatste impuls E_i en de gewenste doelwaarde van de afzonderlijke impulsenergie (doelenergie E_0) worden verkregen.

15

Fig. 3 toont, hoe de werkwijze op de tijdsafhankelijke afstand van de impulsen uitwerkt. Ligt de gemeten afzonderlijke impulsenergie E_i boven de gekozen doelenergie E_0 dan zal de tijdsafhankelijk afstand Δt_{i+1} tot de volgende impuls groter uitvallen dan bij te kleine afgegeven impulsenergie. Het gemiddelde vermogen

20

$$\bar{P}_i = E_i / \Delta t_{i+1} = E_0 \cdot f_0$$

wordt daarbij constant gehouden.

Ter verduidelijking wordt de werkwijze op een stralingsbron 1 met een standaardafwijking van de puls-tot-puls-energievariaties van $\sigma = 7\%$ en een nominale volgfrequentie f_0 van 5 kHz toegepast. De daaruit

resulterende verdeling van de tijdsintervallen tussen de impulsen toont fig. 4.

Verder wordt de dosisnauwkeurigheid als resultaat van de aangegeven regeling voor verschillende vensterfuncties bepaald en in tabel 1 samengevat.

De vensterfunctie is een eigenschap van het lithografische belichting system 3 (scanner) en komt natuurkundig overeen met de doorsnede van de stralingsintensiteit van een afzonderlijke impuls op het waferoppervlak langs de scan-as betrokken op de scansnelheid. Door middel van de vergelijking $x = v \cdot t$ wordt de breedte van de belichte vlek op de wafer van de scansnelheid en van de tijdsgebaseerde afstand tussen twee impulsen beïnvloed. De gebruikte vensterfunctie abstraheert daarbij de intensiteitsverdeling van de afzonderlijke stralingsimpulsen en hoe sterk deze bij de van te voren ingestelde scanbeweging op het waferoppervlak overlappen.

Is de stralingsintensiteit van een afzonderlijke impuls klein (en/of de gevoeligheid van de fotogevoelige laag op de wafer gering) dan moet de scansnelheid zodanig worden verkleind (en/of de nominale volgfrequentie f_0 van de impulsen verhoogt) worden, tot voldoende stralingsimpulsen voor de belichting van een plaats op de wafer bijdragen.

Bij de huidige lithografische scanners (belichtingssysteem 3) zijn vensterfuncties met een grootte van enkele tientallen tot enkele honderdtallen impulsen gebruikelijk.

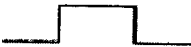
Voor EUV-stralingsbronnen op basis van een gasontlading zijn tegenwoordig vensterbreedtes vanaf 50 impulsen geschikt. Bij het inschakelen van F2-lasers en eximerlasers kan met kleinere vensterbreedtes van de vensterfunctie (vanaf 30 impulsen) worden gewerkt.

De tijdsafhankelijke breedte van de vensterfunctie is bij de aan de tabel 1 ten grondslag liggende simulatie zodanig gekozen dat ten alle tijden

de energie van precies 50 afzonderlijke impulsen (bij nominale volg frequentie f_0) aan de totale dosis bijdraagt, dus $50/f_0$.

Heeft de vensterfunctie en breedte van 50 impulsen dan betekent dit dat twee opeenvolgende stralingsimpulsen twee belichte vlekken (spots) op de wafer genereren die $1/50$ van de spotgrootte verschoven zijn.

Wegens statistische redenen verwacht men in dit geval zelfs bij en onregelde stralingsbron alleen door het middelen al een verbetering van de dosisstabiliteit met een factor $\sqrt{50}$, dus ongeveer 0,990% dosisstabiliteit, zoals uit de eerste regel van volgende tabel 1 in vergelijking tot verschillende vensterfunctie-typen blijkt.

Fensterfunktion		Dosisstabilität σ_D	
		Regelung von Δt_i	Regelung von E_i
gleitendes Mittel, 50 Impulse		0,990 %	
Rechteck		0,829 %	0,203
Gauß		0,033 %	0,052
Dreieck		0,014 %	0,034
Trapez 1/3 - 1/3 - 1/3		0,020 %	0,048

Tabel 1 toont de simulatieresultaten van de regeling volgens de uitvinding en van een gangbare regeling voor verschillende typen van vensterfuncties.

Daarbij wordt duidelijk dat de voordelen van de regeling door de aansturing van de impuls afstand Δt_{i+1} met name bij vensterfuncties met schuine flanken zoals die bijvoorbeeld bij gauss-, driehoeks- of trapezefunctie naar voren komen.

Omdat de rechthoeksfunctie evenwel geen realistische belichtingsfunctie is, is de regeling van de impulsvolgfrequentie voor reële

en gebruikelijke vensterfuncties superieur ten opzichte van de tot nu toe gebruikte regelingswerkwijzen van de impulsenergie. Dit is met name het geval voor de in de laatste regel van tabel 1 beschreven trapezefunctie die voornamelijk in moderne scanners wordt ingezet.

- 5 De directe vergelijking met huidige puls-tot-puls-energiestabilisering (met overeenkomstig eenvoudige regelvergelijking $E_{S,i+1} = E_0 + E_{S,i} - E_i$) bewijst dat de regeling van de impulsafstand Δt_{i+1} (met uitzondering van de rechthoeksfunctie) vergelijkbare of zelfs betere resultaten levert. Voor op plasma gebaseerde stralingsbronnen, waarbij een
- 10 variatie van de bronpositie niet kan worden uitgesloten is deze desalniettemin de enige werkzame regeling ter stabilisering van de stralingsdosis.

- De werkwijze volgens de uitvinding stelt aan de programmeerbare trigger 11 de eis, dat ook nog kort voor het aanzetten van de volgende
- 15 impuls een verandering van het aanzet-tijdstip mogelijk moet zijn. Daarbij is een mogelijk korte voorlooptijd vereist, die de trigger 11 intern nodig heeft voordat de volgende triggerimpuls tijdsnauwkeurig kan worden aangezet. In fig. 5 wordt deze voorlooptijd door de interne instelbare dode tijd t_{tot} van de trigger 11 aangegeven.

- 20 Het tijdsinterval t_{min} geeft de minimaal instelbare tijdsduur tussen twee stralingsimpulsen weer. Deze wordt vastgelegd door de verwerkingstijd (stralingsimpuls, energiemeting, berekening van de aangepaste impulsafstand Δt_{i+1} , programmering van de trigger 11) alsook de maximale herhalingsfrequentie van de stralingsopwekkingseenheid 12 van
- 25 de stralingsbron 1.

De van tevoren gekozen gemiddelde impuls afstand $\Delta t_i = 1/f_0$, d.w.z. de volgens de nominaal gebruikelijke impulsfrequentie f_0 ingestelde impulsafstand Δt_i (voor het instellen van het optimale werkingsregime van de stralingsopwekkingseenheid 12) moet altijd iets groter dan t_{min} zijn, om

tevens een verkleining van de impuls afstand Δt_{i+1} te kunnen uitvoeren.

Deze tijdsafhankelijke samenhang wordt in fig. 5 getoond.

De gemiddelde impuls afstand $\Delta t_i = 1/f_0$ moet dus als volgt worden beschreven:

$$\overline{\Delta t_{i+1}} = t_{min} + \overline{t_{add}},$$

5
10
15
waarbij een tijdstoevoeging $\overline{t_{add}}$ zodanig is te kiezen dat het minimale tijdsinterval t_{min} d.w.z. $\overline{t_{add}} = 0$ slechts met maximaal te verwachten “onderbelichting” (de grootste negatieve afwijking van de impulsenergie E_i van de momentane impuls van de van tevoren ingestelde doelenergie E_0 van de afzonderlijke impulsenergie) tot toepassing komt. Hoewel de uitvinding in de aangegeven voorbeelden in samenhang met gasontladingsuitgevoerde EUV stralingsbronnen wordt beschreven, is deze op equivalente wijze eveneens op willekeurige stralingsbronnen, die gepulseerd zijn uitgevoerd, met name lasergebaseerde EUV-bronnen, eximerlasers en F_2 -lasers te gebruiken.

Verder is de uitvinding niet, zoals in de voorbeelden wordt gekozen tot de eenvoudige vergelijking

$$\Delta t_{i+1} = E_i / (f_0 \cdot E_0)$$

20
25
beperkt, maar vallen diverse regelalgoritmes hieronder die uit de gemeten afzonderlijke impulsenergie en verder bekende of gemeten systemgrootheden de tijdsduur tot de volgende stralingsimpuls berekenen, om de gemiddelde impulsenergie op de gewenste doelwaarde (verwachtingswaarde) van de impulsenergie in te stellen. De uitvinding is dus op willekeurige regelingsvergelijkingen toe te passen waarbij een doelwaarde van het gemiddelde (stralings-)vermogen door de verandering van de impulsafstanden wordt bereikt.

De hier voorgestelde aansturing van de dosis over de tijdsafhankelijke impulsafstand Δt_i tussen twee impulsen kan op een

overeenkomstige wijze ook tot overshoot- en undershoot-compensatie van het gemiddelde stralingsvermogen

$$\bar{P}_t(k) = E_t(k) / \Delta t_{t+1}(k)$$

(volgens vergelijking 4) binnen een momentane burst k worden gebruikt.

5 Alle hiernavolgend genoemde impulsenergiewaarden $E_i(k)$, $E_i(j)$ hebben betrekking op impulsenergieën, die met geschikte middelen in de buurt van het waferoppervlak over een geconjugerd oppervlak worden gemeten.

10 Daarbij worden bijvoorbeeld uitgaande van een voorbeeld-burst j (bijvoorbeeld een gemiddelde voorbeeld burst $\langle j \rangle$) volgens vergelijking (8) $\Delta t_{t+1}(k)$ -waarden als volgt berekend:

$$\Delta t_{t+1}(k) = \frac{1}{f_0} \cdot \frac{E_t(k)}{E_0} \cdot \frac{\langle E_{t+1}(j) \rangle}{\langle E_t(j) \rangle} \quad (8)$$

Vergelijking (8) is een modificatie van de vergelijking (7). Hierbij zijn $\langle E_i(j) \rangle$ de impulsenergiewaarden van een gemiddelde ongeregelde voorbeeld-burst (zie de gestreepte curve in fig. 6a).

15 Een voorbeeld-burst j wordt in een afgescheiden kalibratiemodus van de stralingsbron (normaal zonder belichting van een wafer) met voor de belichting typische burstpatronen opgewekt en zijn impulsenergiewaarden $E_i(j)$ opgeslagen. De kalibratiemodus kan dan meermaals worden uitgevoerd om een gemiddelde impulsenergiewaarde $\langle E_i(j) \rangle$ te kunnen berekenen. Het gebruik van een gemiddelde voorbeeld-burst $\langle j \rangle$ heeft het voordeel, dat ook impulsenergiewaarden op tijdstippen tussen de eigenlijke impulsen kunnen worden geïnterpoleerd en met voldoende goede voorspellende waarschijnlijkheid ter beschikking staan. Voor de te regelen momentane burst k dient doelmatig een zodanige voorbeeld-burst j , die de gelijke voorgeschiedenis (bijvoorbeeld de tijdsduur van de voorgaande burstpauze) als de momentane burst k heeft.

Daarbij is op te merken dat de factor

$$\langle E_{i+1}(j) \rangle / \langle E_i(j) \rangle$$

in veel gevallen bij benadering gelijk aan 1 is. Volgens het voorbeeld van fig. 6a volgt:

$$\langle E_{i+1}(j) \rangle / \langle E_i(j) \rangle \approx 1 + (\text{max. Overshoot}) / (\text{Anzahl d. Overshoot-Impulse})$$

$$\approx 1 + 20\% / 50 = 1,004.$$

figuur 6a toont als voorbeeld een, in de ongeregelde uitvoering gemeten voorbeeldburst (de doorgetrokken curve) of een gemiddelde voorbeeld burst (de gestreepte curve) met een overshoot van 20% en een zich naar de verloop van circa 50 impulsen instellende stationaire impulsenergie van 10 mJ.

Fig. 6b toont – bij een voor de stralingsbron een van tevoren gekozen nominaal impulsvolgfrequentie f_0 van 5 kHz – alle volgens de vergelijking (8) in de burst k berekende impulsafstanden $\Delta t_i(k)$ voor de opwekking van een gemiddeld stralingsvermogen $\overline{P}_i(k)$ zonder overshoot. Zoals eenvoudig is in te zien worden de impulsafstanden aan het burstbegin overeenkomstig de grootte van de overshoot vergroot en benaderen in het verloop van circa 50 impulsen steeds meer de nominale impulsvolgfrequentie f_0 .

De laadspanning blijft bij deze procedure constant en is zodanig ingesteld dat de stralingsbron een in de voor de emissievoorwaarden en de levensduur optimaal regiem wordt gebruikt om de noodzakelijke gemiddelde impulsenergie voor de instelling van de vereiste stralingsdosis op de wafer voldoet. Bovendien wordt in dit geval de gastoevoer zo ingesteld dat in de stralingsopwekkingseenheid 12 optimale ontladingscondities instant worden gehouden.

Hierdoor worden bij de regeling volgens de uitvinding voor de overshoot-compensatie alle instelgrootheden voor de aansturing van de onafzonderlijke impulsenergie in de stralingsopwekkingeenheid 12 – zoals deze voor de lange gebruiksduur van de stralingsbron 1 optimaal worden
 5 ingesteld– constant gehouden.

Ter compensatie van de afwijkingen van de momentane impulsenergie E_i van het doelwaarde E_0 (d.w.z. voor de instelling van een constant gemiddeld stralingsvermogen $\overline{P_i}$ in een burst met circa 50 aanvankelijke overshoot-impulsen) worden uitsluitend d.w.z. zonder
 10 gebruikelijke impulsenergieregeling, de snelle regelingsprocessen voor de aanpassing van de impulsafstanden Δt_i tussen de afzonderlijke impulsen, dat wil zeggen een adaptieve impulsfrequentieaansturing, gebruikt.

Lijst met referentienummers

5	1	stralingsbron
	11	trigger
	12	stralingsopwekkingseenheid
10	2	regelkring
	21	meeteenheid
	22	aansturingseenheid
15	3	(lithografisch)belichtingssysteem
	31	optische overdrachtssystemen
	E_0	doelwaarde van de impulsenergie
20	E_i	impulsenergie
	$\Delta t_i, \Delta t_{i+1}$	impulsafstand
	f_0	(nominale)volgfrequentie
	j	voorbeeld-burst
	k	momentane burst
	P_i	gemiddelde stralingsvermogen
	$\langle E_i(j) \rangle$	gemiddelde voorbeeld-burst (ongeregeld)

Lijst met in de tabel en de figuren gebruikte begrippen:

Tabel 1:

	Fensterfunktion	vensterfunctie
	gleitendes Mittel	glijdend gemiddelde
5	Dosisstabilität	dosisstabiliteit
	Regelung von	regeling van
	Rechteck	rechthoek
	Gauß	Gauss
	Dreieck	driehoek
10	Trapez	trapeze
	Figuren:	
	Steurrechner	Aansturingscomputer
	Impulstrigger	impulstrigger
	Strahlungserzeugung	stralingsopwekking
15	Impulsenergiemeting	impulsenergiemeting
	Strahlung	straling
	Optische Übertragungssysteme	optische overdrachtssystemen
	Belichtungssystem (scanner)	belichtingssysteem (scanner)
	Wahrscheinlichkeit	waarschijnlijkheid
20	(willkür. Einh.)	(willekeurige eenheden)
	Trigger	trigger
	Strahlungsimpuls	stralingsimpuls
	Messwert der Impulsenergie	meetwaarde van de impulsenergie
25	Berechnung	berekening
	Verfügbar	beschikbaar
	Transfer zum Impuls-Trigger	overdracht naar de impulstrigger
	Mittlerer Vorbildburst	gemiddelde voorbeeld-burst
30	Impulsnummer	impulsnummer

Conclusies

1. Werkwijze voor het stabiliseren van het gemiddeld afgegeven stralingsvermogen van een gepulseerd bediende stralingsbron, in het bijzonder van excimerlasers, F₂-lasers of EUV-stralingsbronnen op basis van een heet plasma, waarbij het stralingsvermogen via een lithografisch belichtingssysteem
- 5 (3) voor een waferbelichting wordt gebruikt, met de volgende stappen:- het meten van de afzonderlijke impulsenergie (E_i) van de momentane stralingsimpuls,
- het bepalen van de afwijking $\Delta E = E_i - E_0$ van de aktuele afzonderlijke impulsenergie (E_i) van een van tevoren vastgestelde doelwaarde (E_0) van de afzonderlijke impulsenergie,
- 10 - het besturen van de impulsafstand (Δt_{i+1}) tot aan het initiëren van de volgende stralingsimpuls afhankelijk van de grootte van de afwijking van de aktuele afzonderlijke impulsenergie (E_i) van de doelwaarde (E_0) van de impulsenergie.
- het bepalen van een vensterfunctie, die vastlegt met welk deel van afzonderlijke impulsen aan de totale stralingsdosis van opvolgende afzonderlijke
- 15 impulsen op een bepaalde plaats van de wafer bijdraagt en hoe de stralingsintensiteit langs een scan-as verdeeld uitwerkt, zodanig, dat de vensterfunctie geen steile begin- en eindflanken van de stralingsintensiteit heeft.
- uit de ruimtelijke verdeling van de stralingsintensiteit van een afzonderlijke impuls op de scan-as $w(x-x_0)$ de vensterfunctie zodanig wordt gedefinieerd, dat

20
$$\int w(x - x_0) dx = 1$$

waarbij de plaats x door het product uit de scansnelheid v en de tijd t wordt vervangen en de gezamenlijke stralingsdosis D op een bepaalde plaats op de wafer met

$$D = \int w(v \cdot t - v \cdot t_0) P(t) dt$$

$$= \sum w(v \cdot t_i - v \cdot t_0) E_i$$

25 wordt berekend.

2. Werkwijze volgens conclusie 1, daardoor gekenmerkt, dat als vensterfunctie een Gauss-functie met tenminste 30 impulsen wordt gebruikt.
3. Werkwijze volgens conclusie 1, daardoor gekenmerkt, dat als vensterfunctie een driehoeksfunctie met tenminste 30 impulsen wordt gebruikt.

4. Werkwijze volgens conclusie 1, daardoor gekenmerkt, dat als vensterfunctie een trapeziumfunctie met tenminste 30 impulsen wordt gebruikt.
5. Werkwijze volgens conclusie 1, daardoor gekenmerkt, dat ter compensatie van een zogenaamd overshoot- of undershoot-gedrag van de impulsenergie binnen de beginfase van een burst het gemiddelde stralingsvermogen ($\overline{P_i(k)}$) in de momentane burst (k) onder gebruikmaking van van tevoren opgeslagen impulsenergiewaarden ($E_i(j)$) van tenminste op een ongeregelde voorbeeld burst is gebaseerd en daaruit de impuls afstanden ($\Delta t_{i+1}(k)$) overeenkomstig de afwijking van de instelbare gemiddelde impulsenergie (E_0) worden berekend.
6. Werkwijze volgens conclusie 5, daardoor gekenmerkt, dat de impulsafstand tot de volgende impuls volgens de vergelijking

$$\Delta t_{i+1}(k) = \frac{1}{f_0} \cdot \frac{E_i(k)}{E_0} \cdot \frac{\langle E_{i+1}(j) \rangle}{\langle E_i(j) \rangle}$$
 wordt bepaald, waarbij als de gemiddelde impulsenergiewaarde ($\langle E_i(j) \rangle$) tenminste impulsenergiewaarden ($E_i(j)$) van een ongeregelde voorbeeld burst (j) worden gebruikt.
7. Werkwijze volgens conclusie 6, daardoor gekenmerkt, dat als gemiddelde impulsenergiewaarde ($\langle E_i(j) \rangle$), gemiddelde impulsenergiewaarden ($E_i(j)$) uit meerdere ongeregelde voorbeeld bursts (j) worden gebruikt.
8. Werkwijze volgens conclusie 5, daardoor gekenmerkt, dat een ongeregelde voorbeeld-burst (j) van tevoren onder dezelfde begincondities en het zelfde burst-patroon als de te regelen momentane burst (k) wordt opgenomen en wordt opgeslagen.
9. Werkwijze volgens conclusie 5, daardoor gekenmerkt, dat voorbeeld-bursts (j) in een afzonderlijk calibratieregime met meerdere verschillende begincondities en van tevoren vastgelegde burstpatronen worden opgewekt en opgeslagen.
10. Werkwijze volgens conclusie 9, daardoor gekenmerkt, dat voor de opnamen van de impulsenergiewaarden van voorbeeld burst (j) de stralingsopwekkingseenheid (12) met van tevoren vastgestelde waarden van de laadspanning en van de gascondities wordt uitgevoerd.

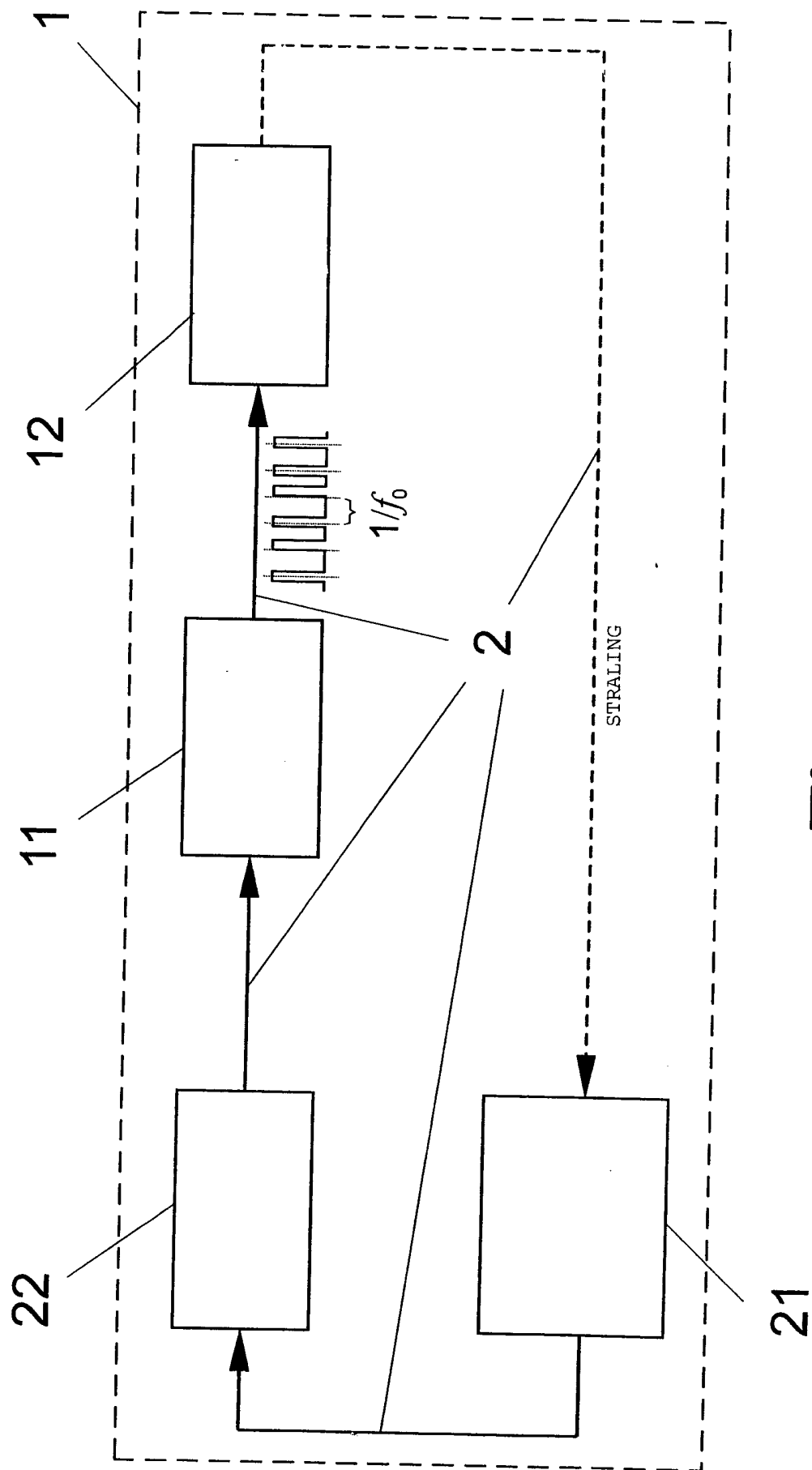


Fig. 1

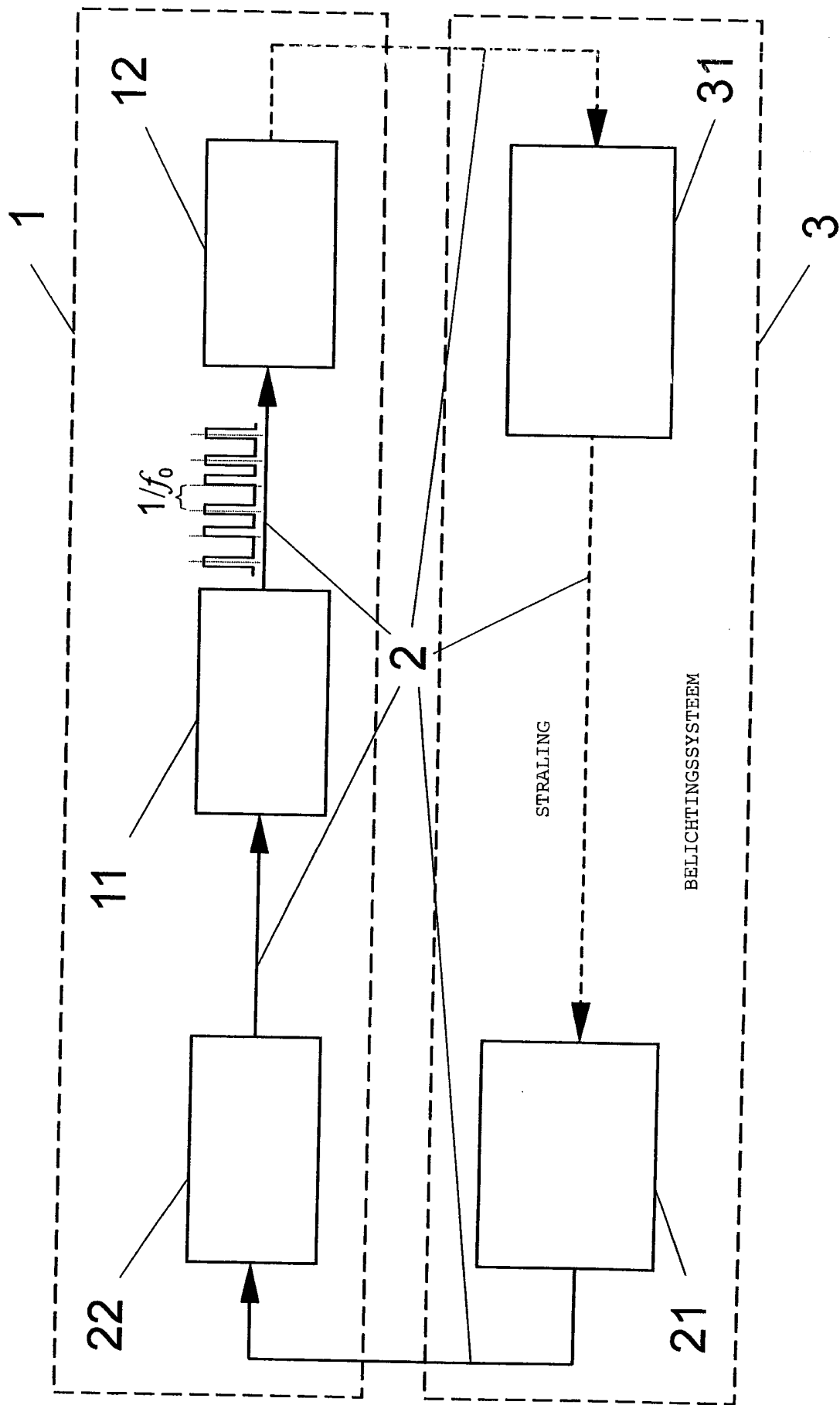


Fig. 2

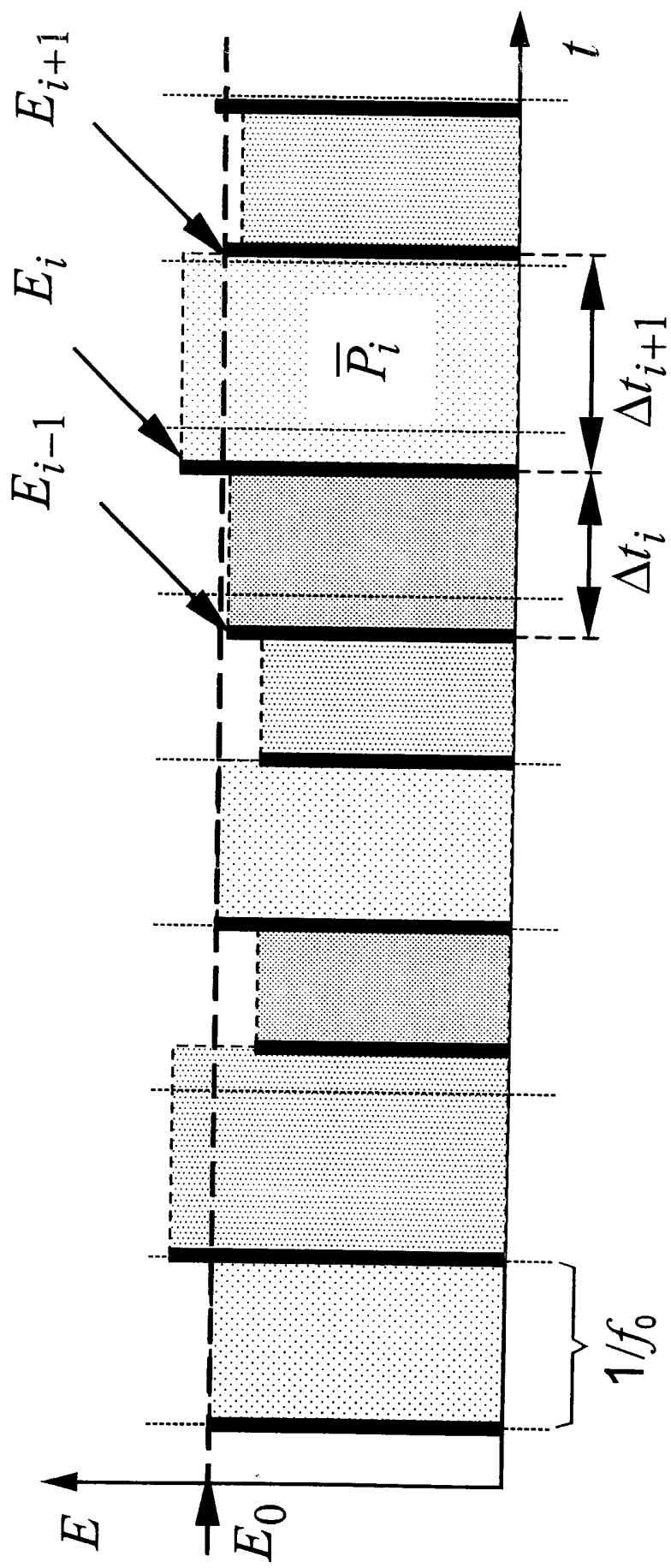


Fig. 3

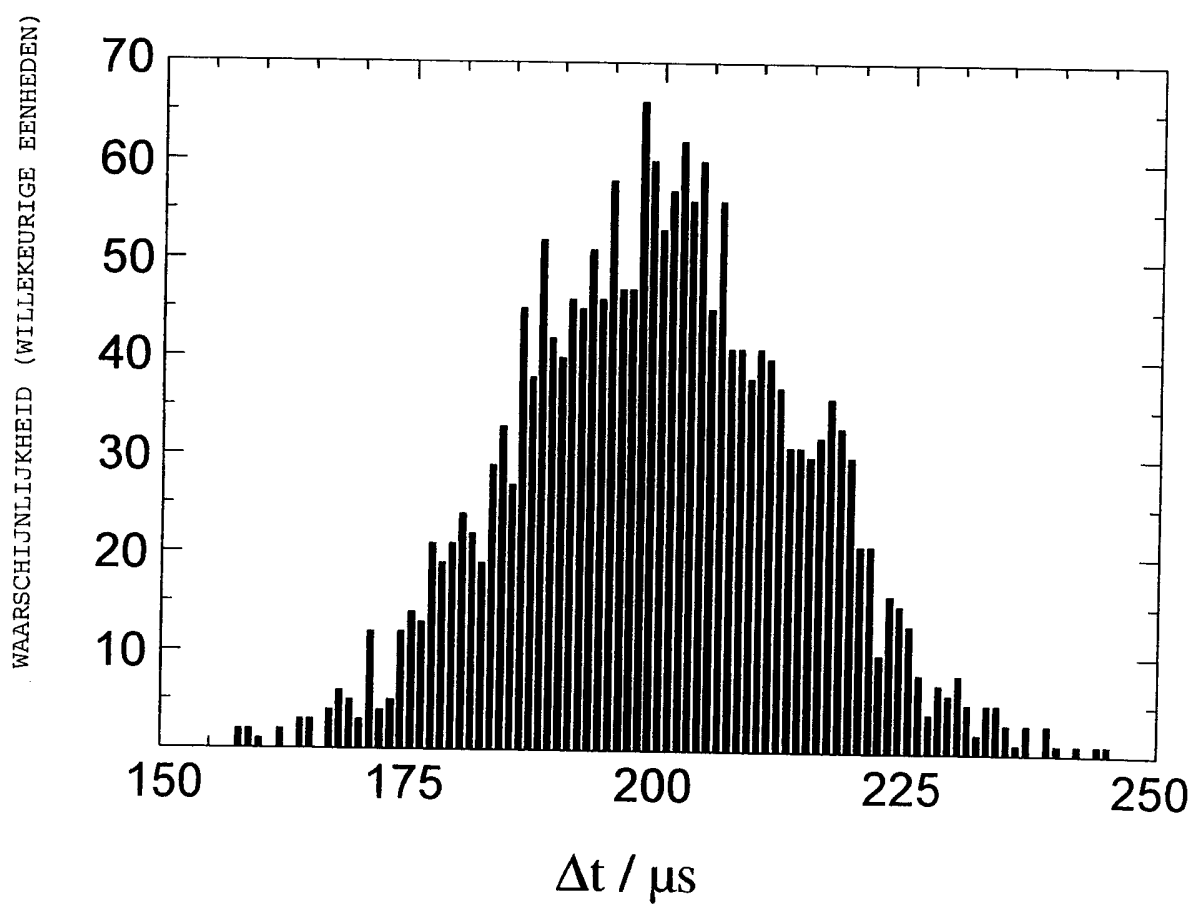


Fig. 4

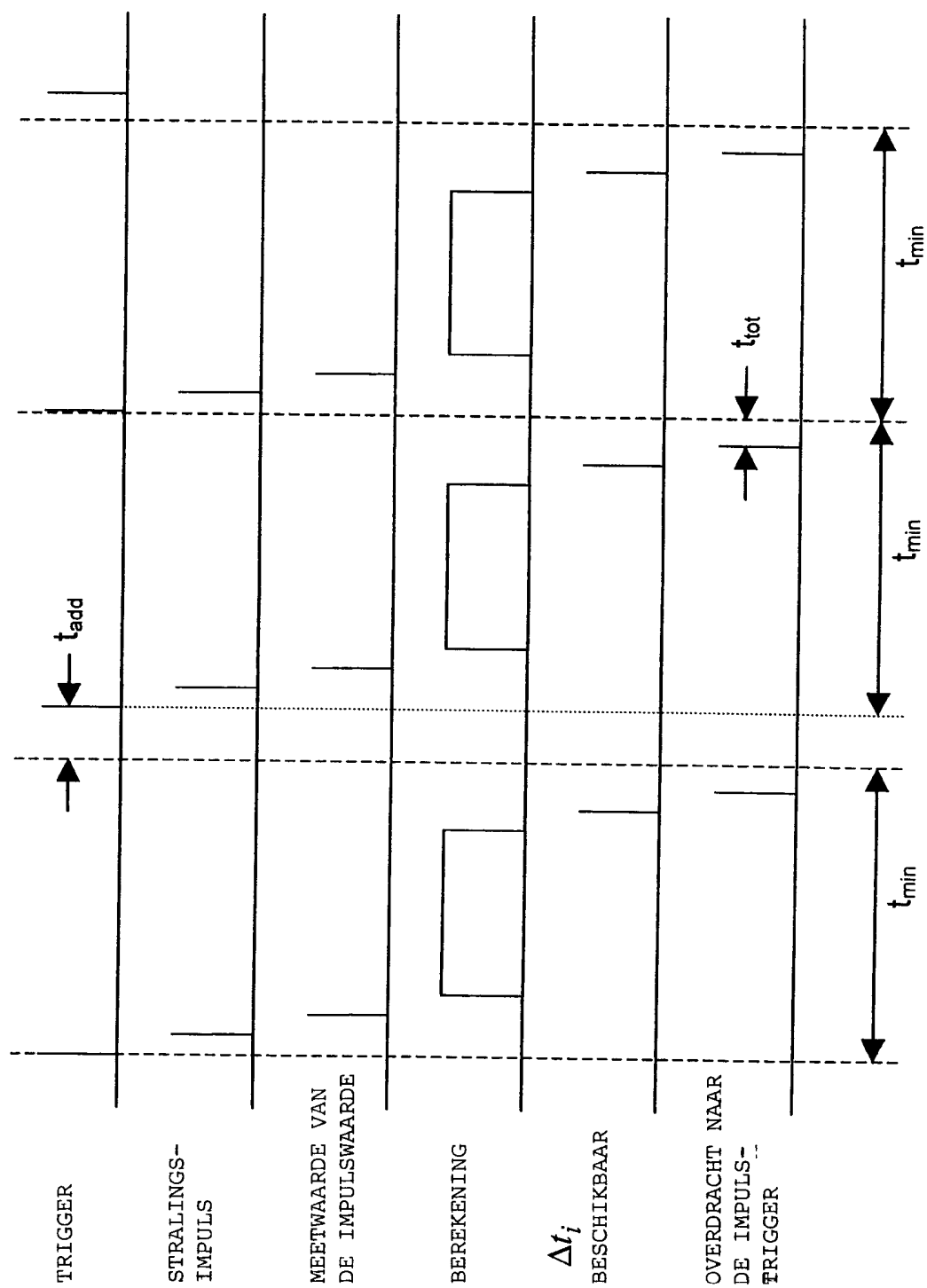


Fig. 5

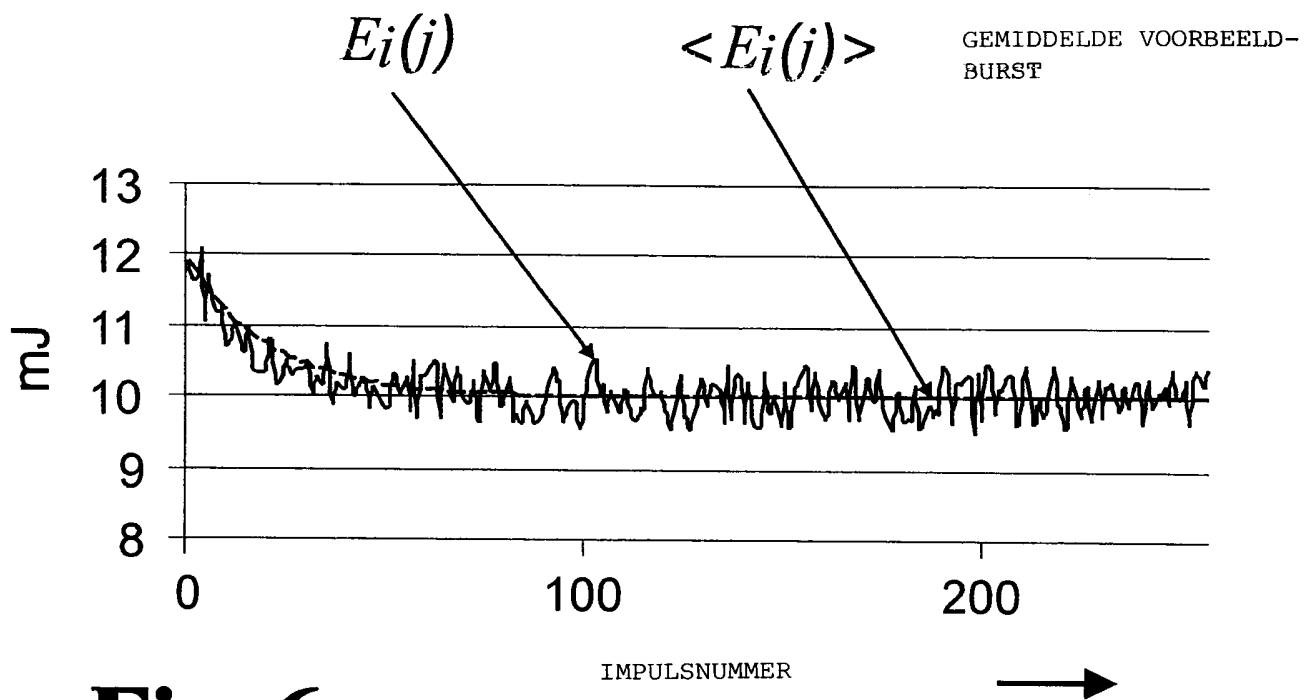


Fig. 6a

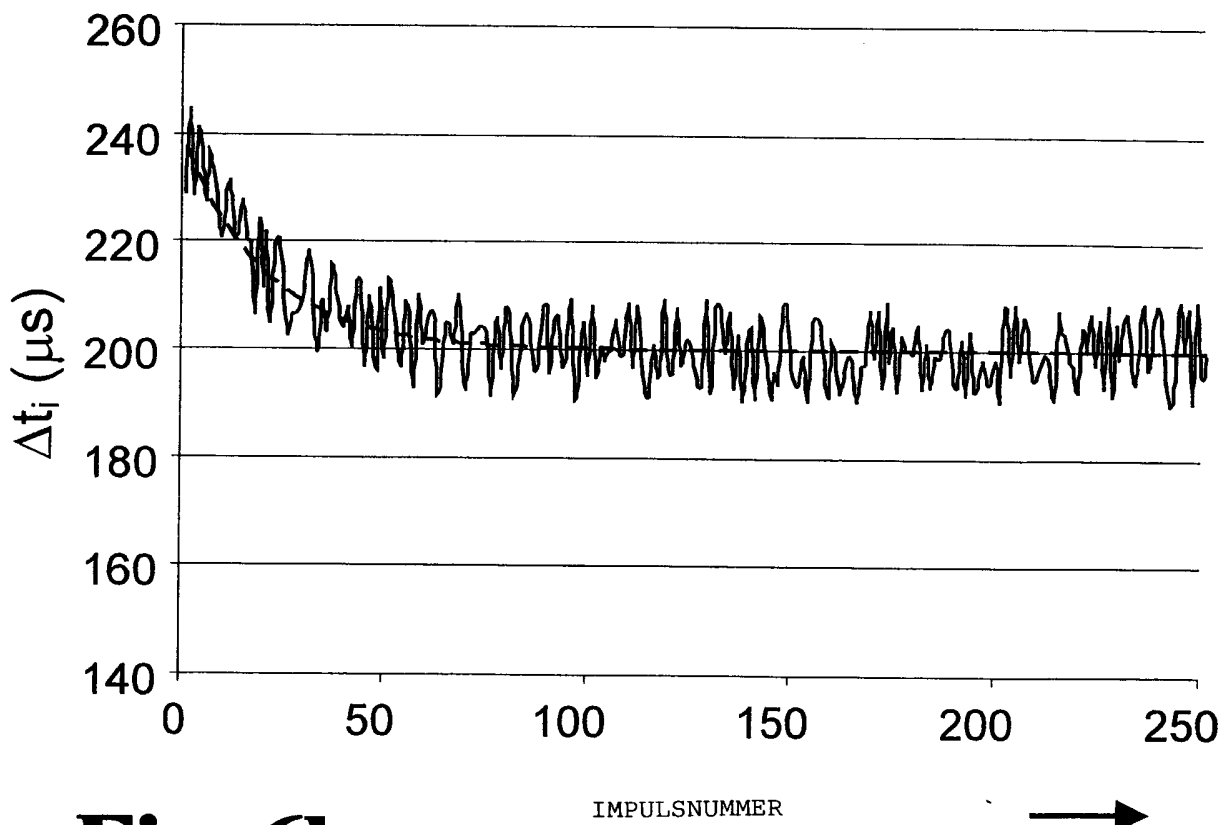
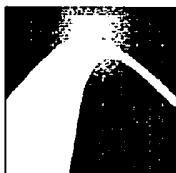


Fig. 6b



ONDERZOEKSRAPPORT

BETREFFENDE HET RESULTAAT VAN HET ONDERZOEK NAAR DE STAND VAN DE TECHNIEK

RELEVANTE LITERATUUR			
Categorie ¹	Literatuur met, voor zover nodig, aanduiding van speciaal van belang zijnde tekstgedeelten of figuren.	Van belang voor conclusie(s) nr.	Classificatie (IPC)
X	EP 0 957 401 A1 (CANON KK [JP]) 17 november 1999 (1999-11-17)	1-4, 15-20	INV. G03F7/20
A	* alineas [0004], [0015], [0033], [0034] *	9-14	G01J1/42
X	US 2002/076628 A1 (HANAWA TETSURO [JP]) 20 juni 2002 (2002-06-20)	1,15	
	* alineas [0072], [0086]; conclusies 1,8,10,18 *		
X	US 5 677 754 A (MAKINOUCI SUSUMU [JP]) 14 oktober 1997 (1997-10-14)	1,15	
	* kolom 9, regels 23-35; conclusies 24-28 *		
X	JP 9 190966 A (CANON KK) 22 juli 1997 (1997-07-22)	1,15	
	* samenvatting *		
A	FR 2 859 545 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 11 maart 2005 (2005-03-11)	1,15	Onderzochte gebieden van de techniek
	* figuur 5 *		G03F
A,D	US 5 608 492 A (SATO MITSUYA [JP]) 4 maart 1997 (1997-03-04)	1,15	
	* het gehele document *		
A	US 2003/198263 A1 (KLEINSCHMIDT JUERGEN [DE]) 23 oktober 2003 (2003-10-23)	1-20	
	* het gehele document *		
		-/--	
Indien gewijzigde conclusies zijn ingediend, heeft dit rapport betrekking op de conclusies ingediend op:			
Plaats van onderzoek:	Datum waarop het onderzoek werd voltooid:	Bevoegd ambtenaar:	
's-Gravenhage	27 oktober 2010	Claessen, Michiel	
¹ CATEGORIE VAN DE VERMELDE LITERATUUR			
X: de conclusie wordt als niet nieuw of niet inventief beschouwd ten opzichte van deze literatuur			
Y: de conclusie wordt als niet inventief beschouwd ten opzichte van de combinatie van deze literatuur met andere geciteerde literatuur van dezelfde categorie, waarbij de combinatie voor de vakman voor de hand liggend wordt geacht			
A: niet tot de categorie X of Y behorende literatuur die de stand van de techniek beschrijft			
O: niet-schriftelijke stand van de techniek			
P: tussen de voorrangsdatum en de indieningsdatum gepubliceerde literatuur			
T: na de indieningsdatum of de voorrangsdatum gepubliceerde literatuur die niet bezwarend is voor de octrooiaanvraag, maar wordt vermeld ter verheldering van de theorie of het principe dat ten grondslag ligt aan de uitvinding			
E: eerdere octrooi(aanvraag), gepubliceerd op of na de indieningsdatum, waarin dezelfde uitvinding wordt beschreven			
D: in de octrooiaanvraag vermeld			
L: om andere redenen vermelde literatuur			
&: lid van dezelfde octrooifamilie of overeenkomstige octrooipublicatie			

RELEVANTE LITERATUUR		
Categorie ¹	Literatuur met, voor zover nodig, aanduiding van speciaal van belang zijnde tekstgedeelten of figuren.	Van belang voor conclusie(s) nr.
A	US 5 107 275 A (TSURUOKA YUJI [JP] ET AL) 21 april 1992 (1992-04-21) * het gehele document * -----	1-20
A	US 5 852 621 A (SANDSTROM RICHARD L [US]) 22 december 1998 (1998-12-22) * kolom 2, regels 17-30 * -----	1,15

1	<u>CATEGORIE VAN DE VERMELDE LITERATUUR</u>	
	X: de conclusie wordt als niet nieuw of niet inventief beschouwd ten opzichte van deze literatuur Y: de conclusie wordt als niet inventief beschouwd ten opzichte van de combinatie van deze literatuur met andere geciteerde literatuur van dezelfde categorie, waarbij de combinatie voor de vakman voor de hand liggend wordt geacht A: niet tot de categorie X of Y behorende literatuur die de stand van de techniek beschrijft O: niet-schriftelijke stand van de techniek P: tussen de voorrangsdatum en de indieningsdatum gepubliceerde literatuur	T: na de indieningsdatum of de voorrangsdatum gepubliceerde literatuur die niet bezwarend is voor de octrooiaanvraag, maar wordt vermeld ter verheldering van de theorie of het principe dat ten grondslag ligt aan de uitvinding E: eerdere octrooi(aanvraag), gepubliceerd op of na de indieningsdatum, waarin dezelfde uitvinding wordt beschreven D: in de octrooiaanvraag vermeld L: om andere redenen vermelde literatuur &: lid van dezelfde octrooifamilie of overeenkomstige octrooipublicatie

**AANHANGSEL BEHORENDE BIJ HET RAPPORT BETREFFENDE
HET ONDERZOEK NAAR DE STAND VAN DE TECHNIEK,
UITGEVOERD IN DE OCTROOIAANVRAGE NR.**

NO 136017
NL 2001094

Het aanhangsel bevat een opgave van elders gepubliceerde octrooiaanvragen of octrooien (zogenaamde leden van dezelfde octroofamilie), die overeenkomen met octrooischriften genoemd in het rapport.

De opgave is samengesteld aan de hand van gegevens uit het computerbestand van het Europees Octrooibureau per De juistheid en volledigheid van deze opgave wordt noch door het Europees Octrooibureau, noch door het Bureau voor de Industriële eigendom gegarandeerd; de gegevens worden verstrekt voor informatiedoeleinden.

27-10-2010

In het rapport genoemd octrooigeschrift		Datum van publicatie	Overeenkomend(e) geschrift(en)	Datum van publicatie
EP 0957401	A1	17-11-1999	GEEN	
US 2002076628	A1	20-06-2002	JP 3807933 B2 JP 2002184670 A KR 20020046917 A	09-08-2006 28-06-2002 21-06-2002
US 5677754	A	14-10-1997	JP 3451604 B2 JP 8008160 A	29-09-2003 12-01-1996
JP 9190966	A	22-07-1997	GEEN	
FR 2859545	A1	11-03-2005	CN 1864104 A DE 602004006281 T2 EP 1660946 A2 WO 2005029191 A2 JP 2007504672 T KR 20060058721 A RU 2359303 C2 US 2007127007 A1	15-11-2006 10-01-2008 31-05-2006 31-03-2005 01-03-2007 30-05-2006 20-06-2009 07-06-2007
US 5608492	A	04-03-1997	JP 7254559 A	03-10-1995
US 2003198263	A1	23-10-2003	DE 10209161 A1	11-09-2003
US 5107275	A	21-04-1992	JP 2177313 A	10-07-1990
US 5852621	A	22-12-1998	AU 7837498 A DE 69836861 T2 EP 0998773 A1 JP 3404292 B2 JP 11097775 A TW 379473 B WO 9904465 A1	10-02-1999 10-05-2007 10-05-2000 06-05-2003 09-04-1999 11-01-2000 28-01-1999



OCTROOICENTRUM NEDERLAND

SCHRIFTELIJKE OPINIE

DOSSIER NUMMER NO136017	INDIENINGSDATUM 14.12.2007	VOORRANGSDATUM 16.12.2006	AANVRAAGNUMMER NL2001094
CLASSIFICATIE INV. G03F7/20 G01J1/42			
AANVRAGER XTREME technologies GmbH te Jena, Bondsrepubliek Duitsland (DE)			

Deze schriftelijke opinie bevat een toelichting op de volgende onderdelen:

- ☒ Onderdeel I Basis van de schriftelijke opinie
- ☐ Onderdeel II Voorrang
- ☐ Onderdeel III Vaststelling nieuwheid, inventiviteit en industriële toepasbaarheid niet mogelijk
- ☐ Onderdeel IV De aanvraag heeft betrekking op meer dan één uitvinding
- ☒ Onderdeel V Gemotiveerde verklaring ten aanzien van nieuwheid, inventiviteit en industriële toepasbaarheid
- ☐ Onderdeel VI Andere geciteerde documenten
- ☐ Onderdeel VII Overige gebreken
- ☐ Onderdeel VIII Overige opmerkingen

	DE BEVOEGDE AMBTENAAR Claessen, Michiel
--	--

SCHRIFTELIJKE OPINIE

Aanvraag nr.:
NL2001094

Onderdeel I Basis van de Schriftelijke Opinie

1. Deze schriftelijke opinie is opgesteld op basis van de meest recente conclusies ingediend voor aanvang van het onderzoek.
2. Met betrekking tot **nucleotide en/of aminozuur sequenties** die genoemd worden in de aanvraag en relevant zijn voor de uitvinding zoals beschreven in de conclusies, is dit onderzoek gedaan op basis van:
 - a. type materiaal:
 - ☐ sequentie opsomming
 - ☐ tabel met betrekking tot de sequentie lijst
 - b. vorm van het materiaal:
 - ☐ op papier
 - ☐ in elektronische vorm
 - c. moment van indiening/aanlevering:
 - ☐ opgenomen in de aanvraag zoals ingediend
 - ☐ samen met de aanvraag elektronisch ingediend
 - ☐ later aangeleverd voor het onderzoek
3. ☐ In geval er meer dan één versie of kopie van een sequentie opsomming of tabel met betrekking op een sequentie is ingediend of aangeleverd, zijn de benodigde verklaringen ingediend dat de informatie in de latere of additionele kopieën identiek is aan de aanvraag zoals ingediend of niet meer informatie bevatten dan de aanvraag zoals oorspronkelijk werd ingediend.
4. Overige opmerkingen:

SCHRIFTELIJKE OPINIE

Aanvraag nr.:
NL2001094

Onderdeel V Gemotiveerde verklaring ten aanzien van nieuwheid, inventiviteit en industriële toepasbaarheid

1. Verklaring

Nieuwheid	Ja: Conclusies 3-14, 16-20 Nee: Conclusies 1, 2, 15
Inventiviteit	Ja: Conclusies 5-14 Nee: Conclusies 1-4, 15-20
Industriële toepasbaarheid	Ja: Conclusies 1-20 Nee: Conclusies

2. Citaties en toelichting:

Zie aparte bladzijde

Re Item V

Reasoned statement with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

- D1 EP 0 957 401 A1 (CANON KK [JP]) 17 november 1999 (1999-11-17)
- D2 US 2002/076628 A1 (HANAWA TETSURO [JP]) 20 juni 2002
(2002-06-20)
- D3 US 5 677 754 A (MAKINOUCI SUSUMU [JP]) 14 oktober 1997
(1997-10-14)
- D4 JP 9 190966 A (CANON KK) 22 juli 1997 (1997-07-22)

NOVELTY

The present application does not meet the criteria of patentability, because the subject-matter of independent claims 1 and 15 is not new for the following reasons:

Claim 1

Document D1 discloses (the references refer to this document, see passages in the search report) : a method for stabilizing the average emitted radiation output of a pulsed radiation source, particularly of excimer lasers based on a hot plasma, comprising the following steps:

measuring the individual pulse energy (column 9 line 38, step 106) of the current radiation pulse;

determining the deviation ($E_{p0}' - E_{p0}$) of the current individual pulse energy E_{p0}' from a previously determined target value E_{p0} of the individual pulse energy; and

controlling the pulse interval preceding the triggering of the next radiation pulse depending on the magnitude of the deviation of the current individual pulse energy E_{p0}' from the target value E_{p0} of the pulse energy. *(In D1 the time to the next pulse $T_i = T_0 \times E_{p0}' / E_{p0}$. This means the time interval is a function of the energy deviation between the measured and the target energy per pulse.)*

As such D1 discloses a method having all features of claim 1 and as such claim 1 is not new over D1.

Claim 15

The objections made to method claim 1 above apply *mutatis mutandis* to corresponding features of device claim 15. Although D1 does not explicitly disclose all apparatus features necessary to measure the pulse energy and to trigger the interval, it is at least implicitly disclosed, otherwise the device of D1 would not function.

Therefore D1 discloses at least implicitly a device having all features of claim 15, and as such claim 15 is not new over D1.

It is noted that the inventive concept of the independent claims, i.e the adjustment of the interval between subsequent pulses in order to control the exposure is known from D2-D4. These documents therefore take away the inventivity of claims 1 and 15.

Dependent claims

The dependent claims 2-4 and 16-20 do not appear to contain any additional features which, in combination with the features of any claim to which they refer, meet the requirements of novelty and/or inventive step, the reasons being as follows:

Novelty

The expression $T_i = T_o \times E_{po} / E_{po}$ in D1 adjusts the time interval exactly as claimed in claim 2.

Inventive step

Claims 3,4 and 16-20 relate to standard modifications of the device/method from D1. The skilled man would apply them according to his needs without exercising any inventive step.

Presence of novelty and inventive step

The subject matter of method claims 5-14 relate to modifications of the method as presented in D1 that go beyond what is expected to be known to the skilled man upon consultation of the known prior art. These features are nowhere disclosed or fairly suggested as an improvement to D1.

Betreffende Item V

Beargumenteerde verklaring met betrekking tot nieuwheid, inventiviteit of industriële toepasbaarheid; citaten en toelichtingen die een dergelijke verklaring ondersteunen

- D1 EP 0 957 401 A1 (CANON KK [JP]) 17 november 1999 (1999-11-17)
- D2 US 2002/076628 A1 (HANAWA TETSURO [JP]) 20 juni 2002 (2002-06-20)
- D3 US 5 677 754 A (MAKINOUCI SUSUMU [JP]) 14 oktober 1997 (1997-10-14)
- D4 JP 9 190966 A (CANON KK) 22 juli 1997 (1997-07-22)

NIEUWHEID

De onderhavige aanvraag voldoet niet aan de criteria voor octrooieerbaarheid omdat de materie van onafhankelijke conclusies 1 en 15 niet nieuw is om de volgende redenen:

Conclusie 1

Document D1 beschrijft (de verwijzingen hebben betrekking op dit document, zie de passages in het onderzoeksrapport): een werkwijze voor het stabiliseren van het gemiddelde afgegeven stralingsvermogen van een gepulseerd bediende stralingsbron, in het bijzonder van excimerlasers op basis van een heet plasma, gekenmerkt door de volgende stappen:

het meten van de afzonderlijke impulsenergie (kolom 9, regel 38, stap 106) van de momentane stralingsimpuls,

het bepalen van de afwijking ($E_{p0}' - E_{p0}$) van de momentane afzonderlijke impulsenergie E_{p0}' van een van tevoren vastgestelde doelwaarde E_{p0} van de afzonderlijke impulsenergie, en

het besturen van de impulsafstand tot het aanzetten van de volgende stralingsimpuls afhankelijk van de grootte van de afwijking van de momentane afzonderlijke impulsenergie E_{p0}' van de doelwaarde E_{p0} van de impulsenergie. *(In D1 is de tijd tot de volgende impuls $T_i = T_0 \times E_{p0}' / E_{p0}$. Dit betekent dat het tijdsinterval een functie is van de*

afwijking van de energie tussen de gemeten waarde en de doelwaarde per impuls.)

Derhalve beschrijft D1 een werkwijze met alle kenmerken van conclusie 1 en derhalve is conclusie 1 niet nieuw ten opzichte van D1.

Conclusie 15

De hierboven beschreven bezwaren tegen werkwijzeconclusie 1 zijn *mutatis mutandis* van toepassing op de overeenkomstige kenmerken van inrichtingsconclusie 15. Hoewel D1 niet expliciet alle nodige kenmerken beschrijft van het apparaat voor het meten van de impulsenergie en het teweegbrengen van het interval, wordt het ten minste impliciet beschreven, omdat de inrichting volgens D1 anders niet zou werken.

Bijgevolg beschrijft D1 ten minste impliciet een inrichting met alle kenmerken volgens conclusie 15, en derhalve is conclusie 15 niet nieuw ten opzichte van D1.

Er wordt opgemerkt dat het inventieve concept van de onafhankelijke conclusies, i.e. de aanpassing van het interval tussen achtereenvolgende pulsen teneinde de blootstelling te controleren, bekend is uit D2-D4. Deze documenten beroven conclusies 1 en 15 derhalve van inventiviteit.

Afhankelijke conclusies

De afhankelijke conclusies 2-4 en 16-20 lijken geen bijkomende kenmerken te bevatten die, in combinatie met de kenmerken van de conclusies waarnaar ze verwijzen, voldoen aan de eisen van nieuwheid en/of inventiviteit. De redenen zijn als volgt:

Nieuwheid

De uitdrukking $T_i = T_0 \times E_{p0}' / E_{p0}$ in D1 past het tijdsinterval op exact dezelfde manier aan als volgens conclusie 2.

Inventiviteit

Conclusies 3, 4 en 16-20 hebben betrekking op standaardmodificaties van de inrichting/werkwijze volgens D1. De deskundige zou deze zonder uitvinderswerkzaamheid naar behoefte kunnen toepassen.

Aanwezigheid van nieuwheid en inventiviteit

De materie van de werkwijzeconclusies 5-14 heeft betrekking op modificaties van de werkwijze volgens D1, die verder gaan dan als bekend mag worden verwacht bij de deskundige na raadpleging van de stand der techniek. Deze kenmerken worden nergens beschreven of redelijkerwijs gesuggereerd als een verbetering ten opzichte van D1.