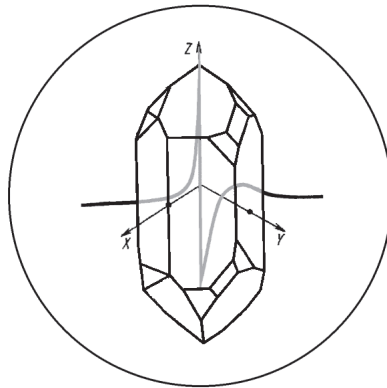


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Материалы Международной научно-технической
конференции «INTERMATIC – 2013»
2 – 6 декабря 2013 г., Москва

Под редакцией
академика РАН А.С. Сизова

Часть 2

Москва – 2013

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

Материалы Международной научно-технической
конференции «INTERMATIC – 2013»
2–6 декабря 2013 г., Москва

Под редакцией
академика РАН А.С. Сизова

Часть 2

**FUNDAMENTAL PROBLEMS
OF RADIOENGINEERING AND DEVICE
CONSTRUCTION**

Proceedings of the International Scientific and
Technical Conference «INTERMATIC – 2013»
December 2–6, 2013, Moscow

Edited by A. Sigov

Part 2

Москва - 2013

УДК 539.1: 621.315.5: 621.382:

Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения / Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC–2013», 2–6 декабря 2013 г., Москва. / Под ред. академика РАН А.С. Сигова. – М.: Энергоатомиздат, 2013, часть 2. – 224 с.

ISBN 978-5-2830-3351-8

В настоящий сборник включены материалы Международной НТК «INTERMATIC–2013», отражающие новые результаты научных и инженерных исследований в области радиоматериалов и технологий.

Сборник рассчитан на специалистов в области физической электроники и технологии радиоэлектронного приборостроения. Он также может быть использован преподавателями, аспирантами и студентами при изучении соответствующих курсов.

В настоящий сборник также включены соответствующие теме материалы V Всероссийской научно-технической школы-конференции молодых ученых «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения – 2013», 3–6 декабря 2013 г., Москва.

Выполнено при финансовой поддержке РФФИ

Редакционная коллегия:

Ю.В. Гуляев (председатель), А.С. Аджемов, К.А. Воротилов,
П.А. Лучников, И.В. Соловьев, С.А. Никитов, В.Г. Орлов,
А.С. Сигов (ответственный редактор)

Научное издание

Редактор – *А.П. Лучников*
Компьютерная верстка – *Д.С. Серегин*

ОАО издательство «Энергоатомиздат», 107031, Москва, ул. Рождественка, 5/7

Подписано в печать с оригинал-макета 26.11.2013 г.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 25,87. Уч.изд. л. 24,64.
Тираж 150 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Галлея-Принт»

ISBN 978-5-2830-3351-8

© Энергоатомиздат,
МГТУ МИРЭА,
ИРЭ РАН,
2013

⋮

,

⋮

• •

«

»

«

»

«

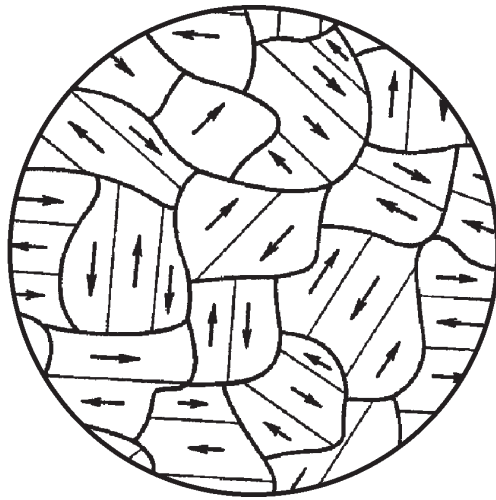
»

О Р Г К О М И Т Е Т

Гуляев Ю.В.	- (Россия) - председатель
Сигов А.С.	- (Россия) - зам. председателя
Аджемов А.С.	- (Россия) - зам. председателя
Лучников П.А.	- (Россия) - ученый секретарь
Балыхин Г.А.	- (Россия)
Бержанский В.Н.	- (Украина)
Ибраев Н.Х.	- (Казахстан)
Камильджанов Б.И.	- (Узбекистан)
Кудж С.А.	- (Россия)
Перно Ф.	- (Франция)
Рогачев А.В.	- (Беларусь)
Скотт Дж.	- (Великобритания)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Никитов С.А.	— председатель,
Орлов В.Г.	— ученый секретарь,
Безруков В.Н.,	Воротилов К.А.,
Есаулов Н.П.,	Мальцев П.П.,
Крашенинников А.И.,	Лось В.П.,
Морозов А.И.,	Нефедов В.И.,
Ивашов Е.Н.,	Пронин И.П.,
Резниченко Л.А.,	Санников В.Г.,
Сидорин В.В.,	Соколов В.В.,
Соловьев И.В.,	Суржииков А.П.,
Фетисов Ю.К.,	Шаврин С.С.



Материалы и технологии

СОДЕРЖАНИЕ

Материалы и технологии	5
1. Кускова А.Н., Жигалина О.М. Исследование структуры пленок $Ba_{0.8}Sr_{0.2}TiO_3$ на подложках MgO	7
2. Жигалина В.Г., Хмеленин Д.Н., Жигалина О.М., Шестакова Ю.А., Серегин Д.С., Воротилов К.А. Применение фокусированного ионного пучка для приготовления образцов многослойных композиций на основе плёнок ЦТС для исследования методами просвечивающей электронной микроскопии	11
3. Пискарев М.С., Гильман А.Б., Шмакова Н.А., Щеголихин А.Н., Яблоков М.Ю., Кечекьян А.С., Кузнецов А.А. Свойства поверхности пленок сополимера тетрафторэтилена с винилиденфторидом, модифицированных в тлеющем разряде постоянного тока	14
4. Лебедев А.И. Гетеропереходы в оксидных системах: разрывы зон и роль многочастичных эффектов	19
5. Гильман А.Б., Яблоков М.Ю., Пискарев М.С., Кечекьян А.С., Кузнецов А.А. Адгезионные свойства тонких пленок фторсодержащих полимеров, модифицированных в разряде постоянного тока	24
6. Винокуров Д.Л. Численное моделирование магнитной структуры компенсированной границы раздела ферромагнетик-мультиферроик	28
7. Иванов А.С., Богомолов А.А., Солнышкин А.В., Силибин М.В. Температурные зависимости фотоэлектрического отклика плёнок ZnO	33
8. Сидоркин А.С., Нестеренко Л.П. Особенности динамики доменной структуры в пленках цирконата-титаната свинца под действием импульсных полей прямоугольной формы	37
9. Майорова Т.Л., Ключев В.Г., Бездетко Ю.С. Особенности поведения неравновесных носителей заряда в пленочных структурах CDS	41
10. Киселев Г.Л. Синтез «идеальных» тонкослойных оптических покрытий	44
11. Овчинников Е.В., Лиопо В.А. Энергетические характеристики эпитаксиальных процессов	48
12. Абдуллаев Д.А., Зайцев А.А., Кельм Е.А., Милованов Р.А. Ионно-лучевое травление, как промежуточная стадия при удалении пассивационных слоёв микросхем в рамках технологии анализа отказов	51
13. Калашников Д.А. Расчет и проектирование мощного предельно-волноводного магнетрона	58
14. Павленко А.В., Вербенко И.А., Резниченко Л.А., Шилкина Л.А., Новиковский Н.М., Дудкина С.И., Пономаренко В.О., Голофастова А.С. Диэлектрические и пьезоэлектрические отклики керамики $0.70BiFeO_3-0.30PbFe_{1/2}Nb_{1/2}O_3$	62

15. Михайленко Е.К., Жуков С.С. Электронно-энергетическое строение кристалла Са-монтмориллонита	66
16. Барабанова Е.В., Малышкина О.В., Топчиёв А.А., Пугачев С.И. Влияние электродов на диэлектрические свойства керамики на основе системы ЦТС	70
17. Борисенко С.А., Иванов В.В. Исследование влияния выдержки во внутреннем поле на скачкообразные процессы переключения в монокристаллах триглицинсульфата	74
18. Большакова Н.Н., Некрасова Г.М., Павлов А.В. Процессы переключения сегнетокерамики системы ЦТС	78
19. Зубкова Е.Н., Абдуллаев Д.А., Серегин Д.С., Котова Н.М., Воротилов К.А. Особенности микроструктуры пористых пленок ЦТС	82
20. Быков И.П., Еремкин В.В., Мараховский М.А., Панич А.А., Смотрakov В.Г., Юрченко Л.П., Ястрабик Л. Природа примесных дефектов и их влияние на электрофизические свойства в твердых растворах $PbZrO_3-PbTiO_3-Pb(Mn_{1/3}Nb_{2/3})O_3-Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$	87
21. Абубакаров А.Г., Вербенко И.А., Садыков Х.А., Резниченко Л.А., Андриюшин К.П. О возможностях усиления пьезоактивности бессвинцовых сегнетокерамик на основе многокомпонентной системы $(Na,K,Li)(Nb,Sb,Ta)O_3$	91
22. Ефремова П.В., Педько Б.Б., Кузнецова Ю.В. Реальная структура поверхности кристаллов ниобата лития с различными примесями	95
23. Григорян Г.С., Солодуха А.М. Влияние импульсного лазерного воздействия на импеданс керамических образцов на основе цирконата-титаната свинца	98
24. Гужаковская К.П., Бурханов А.И., Ивлева Л.И. Кинетика тока и диэлектрического отклика после воздействия освещения на монокристалл SBN-75	102
25. Кардашова Г.Д., Сафаралиев Г.К., Билалов Б.А., Шабанов Ш.Ш., Вагабова Г.А. Анализ поверхности излома керамики состава SiC-AlN методами СЗМ и РЭМ	106
26. Кочергин И.В., Жога Л.В. Влияние механических напряжений на ток утечки в сегнетокерамике	110
27. Лалетин Р.А., Бурханов А.И., Бондаренко П.В., Раевская С.И., Раевский И.П. Низко- и инфранизкочастотные диэлектрические свойства сегнетокерамики $(1-x)NaNbO_3-xLi_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$	114
28. Миловидова С.Д., Рогазинская О.В., Сидоркин А.С., Нгуен Хоай Тхьонг, Максимова Е.И., Воротников Е.В. Сегнетоэлектрические свойства кристаллов ТГС с изопропанолом	118

29. Сопун А.В., Бурханов А.И., Завьялов Г.С., Vormanis K., Smeltre I. Исследование характера нелинейности низкоинфранизкочастотного диэлектрического отклика в сегнетокерамике $(K_{0,5}Na_{0,5})(Nb_{1-x}Sb_x)O_3 + 0,5 \text{ mol } \% MnO_2$	122
30. Сафаралиев Г.К., Кардашова Г.Д., Билалов Б.А., Шабанов Ш.Ш., Вагабова Г.А., Алиев М.А. Исследование механических свойств карбидкремниевой керамики с различными активирующими добавками	126
31. Krutov V.V., Sigov A.S., Shchuka A.A. Formation of regular domain structures in a strip microwave resonator	130
32. Таланов М.В., Павелко А.А., Резниченко Л.А., Захаров Ю.Н., Лутохин А.Г. Особенности Е-Т фазовой диаграммы керамик на основе PMN-PT	133
33. Фам Май Ан, Медников С.В., Бурханов А.И., Сидоренко Н.В., Шеин А.Г. Особенности теплового расширения монокристаллов ниобата лития	137
34. Винтайкин Б.Е., Лобойко А.А. Структурные состояния в сплавах на основе Fe-Nd-B в ходе HDDR процесса	141
35. Павлов А.Н., Минасян Т.А., Раевский И.П., Малицкая М.А., Раевская С.И., Шевцова С.И., Захарченко И.Н. Зависимость параметров петли гистерезиса керамики сегнетоэлектрика феррониобата свинца от частоты	143
36. Аванесян В.Т., Арсова Д., Джамгозова Е.Р. Электрофизические свойства стеклообразного полупроводника системы Ge-As-S	147
37. Билалов Б.А., Сафаралиев Г.К., Курбанов М.К., Кардашова Г.Д., Рамазанов Ш.М., Курбайтаев А.Я. Исследование структурных и оптических свойств твердых растворов $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$	150
38. Аванесян В.Т., Баранова Е.П., Попчук М.В., Сычев М.М. Фотополяризационные явления в электролюминесцентной структуре ZnS(Cu)	154
39. Егоров А.В., Солнышкин А.В., Богомолов А.А., Силибин М.В., Гаврилов С.А. Температурная зависимость электропроводности и емкости гетероструктур Cu/ZnO/Si	157
40. Лаеров П.П. Перспективные пьезоэлектрические пленочные материалы для МЭМС	161
41. Лаеров П.П. Получение бездефектных сегнетоэлектрических пленок ЦТС золь-гель методом для устройств МЭМС	165
42. Ярмоленко М.А., Егоров А.И., Лучников П.А., Лю Чжубо Процессы легирования вакуумных полимерных покрытий на основе полианилина	169
43. Рогачев А.В., Лучников П.А., Рогачев А.А., Лю Чжубо, Ярмоленко М.А. Кинетика воздействия пучка электронов и лазерного излучения на диспергируемый полимер в вакууме	174

44. Ярмоленко М.А., Лучников П.А., Рогачев А.В., Лю Чжубо Сорбционные свойства полимер-полимерных нанокомпозитов	178
45. Чернов П.П., Минахметов А.А., Пономарев А.Ф. Дистанционное изменение проводимости тонких пленок полидифениленфталаида	181
46. Минахметов А.А., Чернов П.П., Пономарев А.Ф. Исследование эффекта электронного переключения тонкой полимерной пленки полидифениленфталаид в зависимости от внешних воздействий	183
47. Постников В.В., Камалова Н.С., Саушкин В.В. Качественная оценка возможного влияния слабого импульсного магнитного поля на микроструктуру биопластика	186
48. Постников В.В., Камалова Н.С., Евсикова Н.Ю., Матвеев Н.Н., Лисицын В.И. Ионные токи в древесине в неоднородных температурных полях	189
49. Банний В.А., Игнатенко В.А. Водосодержащие радиопоглощающие материалы на основе термопластов	191
50. Благов А.Е., Васильев А.Л., Кондратьев О.А., Писаревский Ю.В., Просеков П.А., Серегин А.Ю. Возможности комплексной диагностики электронных приборов и их компонент методами высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии, рентгеновской рефлектометрии, стоячих рентгеновских волн и просвечивающей электронной микроскопии	195
51. Ивашов Е.Н., Костомаров П.С., Лучников П.А. Повышение качества светового потока в литографии	200
52. Костомаров П.С. Выбор варианта управления защищенной системой	204
53. Ивашов Е.Н., Кузнецов П.С., Степанчиков С.В. Внутрикамерные функциональные устройства вакуумного технологического оборудования	209
54. Кузнецов П.С., Степанчиков С.В. Вводы движения в вакуум с бесконтактным магнитным взаимодействием	213
55. Кузнецов П.С., Степанчиков С.В. Экспериментальные исследования газопроницаемости тонкостенных герметизирующих элементов вакуумных устройств с бесконтактным магнитным взаимодействием	217

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СВЕТОВОГО ПОТОКА В ЛИТОГРАФИИ

© 2013 г. Е.Н. ИВАШОВ, П.С. КОСТОМАРОВ, П.А. ЛУЧНИКОВ*

Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ,
*Московский государственный технический университет,
радиотехники, электроники и автоматики
e-mail: Pavel.Kostomarov@gmail.com

Высоконаправленный лазерный луч разделяется на множество мелких пучков всевозможных направленностей, проходя через среду с нерегулярными неоднородностями, например, матовую пластину [1]. Искаженный лазерный луч был направлен в длинную трубку с газообразным метаном, находящимся под высоким давлением и, взаимодействуя с молекулами метана отражался назад (эффект вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна [2]). При этом газ работал как «благородное» зеркало, т. е. при отражении от его молекул искаженный лазерный луч становился вновь идеальным и соответствовал лучу, генерируемому источником.

Для получения эффекта обращения волнового фронта (ОВФ) необходимо, чтобы длина свободного пути L молекулы была равна длине волны λ лазерного излучения.

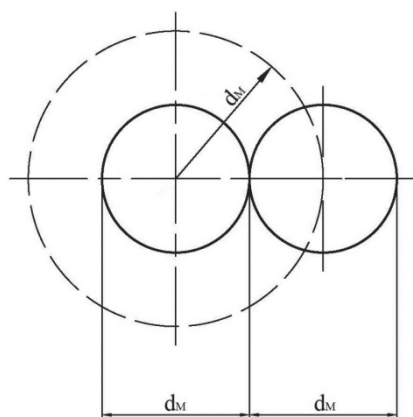


Рис. 1. Схема расчета столкновения двух одинаковых молекул.

Одна молекула имеет радиус d_m , а все остальные молекулы – математические точки с нулевым радиусом (Рис. 1). Такая молекула опишет объем $V = \pi d_m^2 v$ при движении со скоростью v в газе с молекулярной концентрацией n за одну секунду и испытает $K = n\pi d_m^2 v$ соударений [3].

Средняя длина свободного пути будет равна

$$L = \frac{v}{K} = \frac{1}{n\pi d_m^2}. \quad (1)$$

С учетом относительных скоростей движения молекул газа (не учитывались при выводе выражения (1)), можно получить более точное выражение:

$$L = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d_m^2}. \quad (2)$$

Из формулы 2 видно, что при постоянной молекулярной концентрации длина свободного пути не должна зависеть от температуры. Однако из опытных данных следует, что с увеличением температуры L при $n = const$ увеличивается [3]. Зависимость длины свободного пути от температуры может быть учтена введением в (2) дополнительного множителя в знаменателе, получаемого экспериментально:

$$L = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d_m^2 (1 + C/T)}. \quad (3)$$

Здесь C – постоянная Сезерленда, она равна температуре, при которой в случае постоянной молекулярной концентрации газа средняя длина свободного пути мо-

лекул уменьшается вдвое по сравнению со значением, соответствующим бесконечно большой температуре.

Для учета взаимодействия молекул газа между собой (взаимного притяжения) вводят понятие эффективного диаметра молекулы d_T :

$$d_T^2 = d_m^2(1 + C/T). \quad (4)$$

Эффективный диаметр молекулы уменьшается с увеличением температуры газа.

Формула (3) может быть представлена с учетом (4) в виде

$$L = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d_T^2}. \quad (5)$$

Используя уравнение газового состояния $p = nkT$, выражение (3) можно преобразовать:

$$L = \frac{kT}{\sqrt{2}p\pi d_m^2(1 + C/T)} = \frac{kT^2}{\sqrt{2}p\pi d_m^2(T + C)}. \quad (6)$$

Для воздуха при $T = 298 \text{ K}$ и давлении 1 Па из (6) следует, что $L_1 = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{Па}$. При любом другом давлении $L = L_1/p$. Удобная формула для приближенного расчета L в зависимости от давления:

$$L = 6,3 \cdot 10^{-3} / p, \quad (7)$$

где p – в Па, а L – в м.

При расчетах длины свободного пути молекул газа, при различных температурах и постоянном давлении на основании (6) можно получить следующее выражение:

$$L_T = L_0 \frac{T^2(T_0 + C)}{T_0^2(T + C)} = BL_0, \quad (8)$$

$$B = \frac{T^2(T_0 + C)}{T_0^2(T + C)}. \quad (8)$$

В случае смеси двух газов, молекулы которых имеют массы m_1 и m_2 , средняя длина свободного пути L_1 частицы с массой m_1 рассчитывается по формуле

$$L_1 = \frac{1}{\sqrt{2}\pi n_1 d_{T1}^2 + \pi n_2 d_{T2}^2 \sqrt{1 + m_1/m_2}}. \quad (9)$$

Здесь d_{T1} – эффективный диаметр молекул с массой m_1 и концентрацией n_1 ; $d_{12} = \frac{1}{2}(d_{T1} + d_{T2})$; d_{T2} – эффективный диаметр молекул с массой m_2 и концентрацией n_2 .

Пусть длина свободного пути L молекулы метана равна длине волны λ лазерного луча

$$L = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d_{\text{CH}_4}^2}, \quad (10)$$

где n – концентрация молекул газа, определяется из уравнения газового состояния

$$n = \frac{p}{kT}. \quad (11)$$

Подставив выражение (11) в (10), получим:

$$p = \frac{kT}{\sqrt{2}n\lambda d_{\text{CH}_4}^2} \quad \text{или} \quad p = \frac{kT}{4,44\lambda d_{\text{CH}_4}^2} \quad (12)$$

Расчеты показали, что при $\lambda = 193 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, $p = 3 \cdot 10^4 \text{ Па}$, а при $\lambda = 19,3 \cdot 10^{-19} \text{ м}$, $p = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Основными направлениями применения эффекта ОВФ являются:

1. создание высоконаправленных лазерных лучей с компенсацией искажений в среде с нерегулярными неоднородностями;
2. компенсация искажения изображения в литографии с использованием как отражательного, так и просвечивающего шаблонов.

Метод введения фазосдвигающих элементов, наряду с иммерсированием, обеспечивает значительное уменьшение габаритов рисунка и, в случае разности фаз в полпериода, приводит к нулевому значению сигнала.

Однако такой эффект возможен и в случае применения обращателей волнового фронта (газообразного метана под большим давлением).

При экспонировании наноизображения с размерами равными и меньшими предельного размера по Рэлю-Аббе, изображение претерпевает искажения, связанные с дифракционными явлениями.

Устранение таких дефектов обеспечивается введением упреждающих компенсирующих элементов на фотошаблоне.

На Рис. 2 представлена схема устройства для выполнения литографических операций с использованием эффекта ОВФ.

В основу технического решения положена задача повышения качества светового потока используемого для технологической обработки, за счет большей равномерности [5].

Согласно предложенному техническому решению, источник электромагнитного излучения, объект технологической обработки с шаблоном или маской помещены в вакуумную камеру, которая снабжена узлом подачи газообразного метана под давлением до 10^6 Па.

Введение в устройство для выполнения литографических операций узла подачи газообразного метана под давлением до 10^6 Па обеспечивает возможность формирования идеально направленного излучения за счет прохождения через неоднородную среду в соответствии с эффектом, называемым вынужденным рассеянием Мандельштама-Бриллюэна.

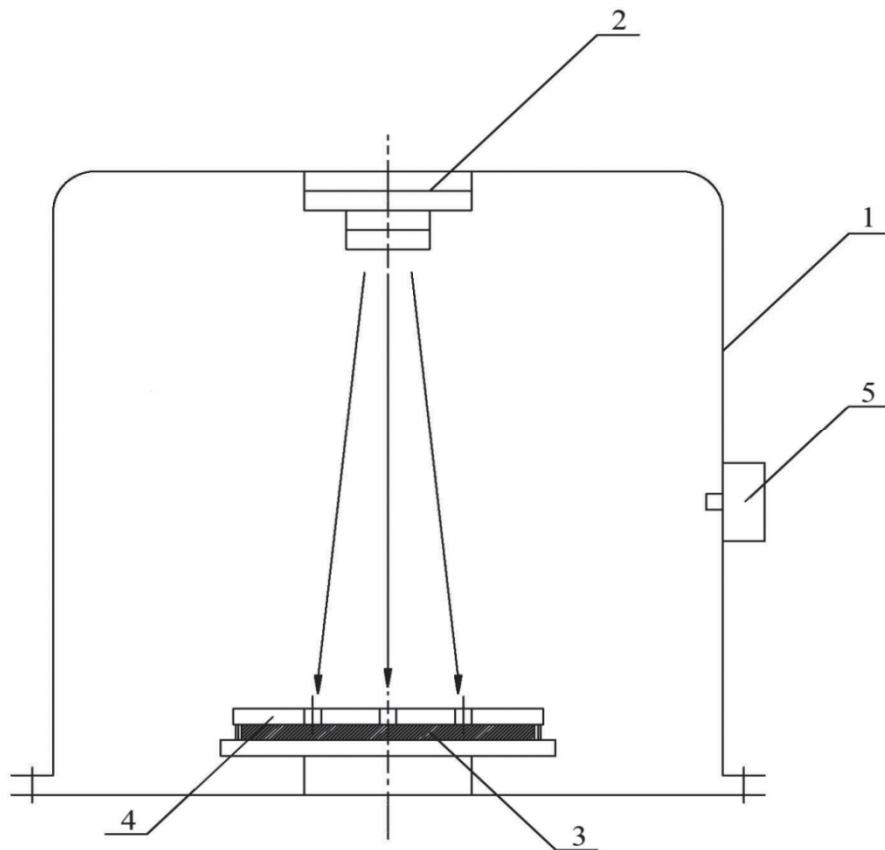


Рис. 2. Устройство для выполнения литографических операций.

Устройство для выполнения литографических операций (Рис. 2) содержит вакуумную камеру 1 с установленными в ней источником электромагнитного излучения 2, объектом технологической обработки 3, а так же, шаблоном или маской 3, снабженную системой подачи газообразного метана (5) под давлением до 10^6 Па.

Устройство для выполнения литографических операций работает следующим образом.

Неоднородный пучок расходящийся от источника электромагнитного излучения 2 подходит к неоднородного среде газообразного метана под давлением до 10^6 Па и, проходя через нее, становится идеально направленным в соответствии с эффектом Мандельштама – Бриллюэна [1]. Направленный пучок электромагнитного излучения, проходя через шаблон/маску 4 воздействует на предмет технологической обработки 3.

Применение предлагаемого устройства для выполнения литографических операций позволяет повысить качество светового потока используемого для технологической обработки за счет большей равномерности [6].

Для каждой конкретной технической задачи устанавливаются требования к технологическому процессу и параметрам оборудования, поэтому, для выбора технического решения необходимо воспользоваться соответствующими алгоритмами, которые смогут учитывать все необходимые критерии [7].

Выводы

Использование эффекта обращения волнового фронта обеспечивает создание высоконаправленного светового потока, компенсируя искажения по всей трассе прохождения пучка лучей.

В статье рассмотрены основные направления применения данного эффекта, подходящие для использования в устройствах, направленных на получения элементов с проектными нормами не более 32 нм.

Представлено устройство для выполнения литографических операций в основу которого положена задача повышения качества светового потока используемого для технологической обработки, за счет большей равномерности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зельдович Б.Я. Обращение волнового фронта – М.: Наука, 1985 г., 247 с.
2. Дмитриев В.Г. Нелинейная оптика и обращение волнового фронта – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001 г., 256 с.
3. Розанов Л.Н. Вакуумная техника – М.: Высшая школа, 1982 г., 207 с.
4. Визильтер Ю.В. Обобщенная проективная морфология / Компьютерная оптика. – Том 32, № 4 ÷ 2008 С. 384 – 399.
5. Ивашов Е.Н., Костомаров П.С. Обобщенный критерий качества в информационной технологии проектирования оборудования иммерсионной ультрафиолетовой литографии // В кн.: Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: материалы международной научно-технической конференции / Отв. ред.: И.А. Иванов; под общ. ред.: С. У. Увайсов. М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2012. С. 182-188.
6. Ивашов Е.Н., Костомаров П.С. и др. Критерий качества в автоматизированном проектировании устройств оборудования иммерсионной литографии // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. 2012. № 3. С. 69-77.
7. Костомаров П.С. Алгоритм выбора технологического решения для иммерсионной ультрафиолетовой литографии // В кн.: Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов МИЭМ НИУ ВШЭ. Тезисы докладов / Науч. ред.: А.Н. Тихонов, В.Н. Азаров, М.В. Карасев, В.П. Кулагин, Ю.Л. Леохин, Б.Г. Львов, У.В. Аристова, Н.С. Титкова. М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. С. 253-254.