

- [8] Wright P.D. // J. Appl. Phys. 1987. V. 61. N 1. P. 1720-1724.
- [9] Пузин И.Б., Шерварлы Г.К. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. 1990. № 19.
- [10] Пузин И.Б., Шерварлы Г.К. // ЭТ, серия 11, Лазерная техника и оптоэлектроника. 1990 (в печати).

Институт полупроводников  
АН УССР, Киев

Поступило в Редакцию  
10 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 15

12 августа 1990 г.

© 1990

12

## ПРИМЕНЕНИЕ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СТРУКТУР И ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛМАЗНЫХ ПЛЕНОК ПРИ СОЗДАНИИ АНОДА ИСТОЧНИКА МЯГКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.М. Прохоров, И.Н. Сисакян,  
В.Ю. Хомич

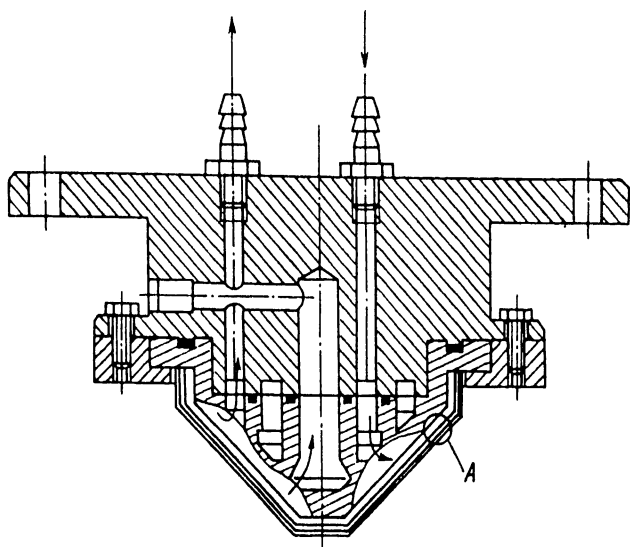
Современный уровень микроэлектроники во многом связан с развитием способов субмикронной размерной обработки материалов, один из которых – метод рентгеновской литографии [1, 2].

Разработка и создание высокомошных охлаждаемых анодов, способных длительное время находиться в эксплуатации в условиях интенсивного теплового нагружения, надежных и технологичных в изготовлении, является одной из актуальных проблем рентгенолитографии.

Вопрос тепловой устойчивости анода пытались решить путем создания вращающихся конструкций [1, 3], однако их недостатками являются большие габариты и сложность в изготовлении.

Известны стационарные аноды [4, 5], в которых облучаемая электронным пучком мишень охлаждается проточным теплоносителем, но из-за недостаточно эффективных систем отвода тепла максимально допустимые нагрузки малы и не удовлетворяют современным требованиям.

Помимо системы охлаждения, вторым важным вопросом, стоящим при создании анода, является выбор материала мишени. В работе [5] было предложено изготавливать мишень из алмаза типа „Па“, генерирующего характеристическое излучение на длине волны 44.7 Å (линия  $K_{\alpha}$  углерода), к которой высокочувствительны существующие в настоящее время резисты. Однако такие аноды имеют



A

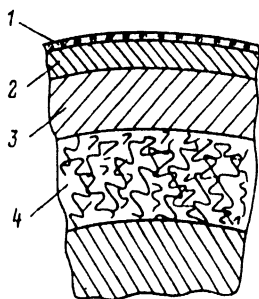


Рис. 1. Конструкция анода источника мягкого рентгеновского излучения: 1 - поликристаллическая алмазная пленка, 2 - карбидообразующий подслой, 3 - герметизирующий слой, 4 - капиллярно-пористый теплообменник.

целый ряд недостатков; алмаз - редкий и дорогостоящий материал, трудно поддающийся механической обработке и прочному, герметичному соединению кристалла по контуру.

В настоящей работе представлена разработка, создание и исследование высокоомощного анода источника мягкого рентгеновского

излучения с системой охлаждения, выполненной на основе структуры с открытой пористостью, и с мишенью из поликристаллического алмаза.

Предложенная конструкция выполнена в виде металлической усеченной конусной головки с разветвленной коллекторной сетью для подвода и отвода теплоносителя к капиллярно-пористому слою на боковой поверхности конуса, на которой последовательно нанесены герметизирующий слой и слой для генерации излучения, образованный подслоем из карбидообразующего материала и поликристаллической полупроводниковой алмазной пленкой [6].

На рис. 1 представлена конструкция анода источника мягкого рентгеновского излучения и показана структура поверхностного слоя в зоне взаимодействия с электронным пучком.

Основа анода с капиллярно-пористым слоем и с коллекторной сетью для подвода и отвода теплоносителя изготавливается из теплопроводного материала. Герметизирующий слой может быть нанесен различными способами, в том числе методом электронно-вакуумного напыления металла. Карбидообразующий подслой также может наноситься различными методами, можно использовать пиролитическое разложение паров металлоорганических соединений.

Эпитаксиальное наращивание полупроводниковой поликристаллической алмазной пленки, легированной бором, осуществлялось осаждением из электрически и термически активированной углеводород-водородной газовой фазы [7].

Анод работает следующим образом. Электронная пушка бомбардирует поверхность анода, при этом алмазная пленка генерирует характеристическое излучение  $K_{\alpha}$ -линии углерода ( $44.7 \text{ \AA}$ ). Тепло, выделяемое на аноде, отводится в капиллярно-пористый слой, который охлаждается проточным теплоносителем.

Поликристаллическая алмазная пленка и метод ее нанесения на подслой из пиролитического вольфрама обеспечивают высокую степень адгезии покрытия к основе и устойчивость к растрескиванию под действием термоупругих напряжений, развивающихся при его облучении электронным пучком. Легирование бором в процессе эпитаксиального наращивания придает пленке полупроводниковые свойства, что улучшает стекание заряда при электронной бомбардировке.

На рис. 2 представлена схема источника излучения устройства рентгеновской литографии, который состоит из электронной пушки и охлаждаемого анода, расположенных в вакуумной камере, снабженной окном для вывода излучения экспонирующего резистор.

Были изготовлены и испытаны аноды, выполненные из меди в виде усеченного конуса с капиллярно-пористым медным теплообменником, на рабочую поверхность которого последовательно нанесены герметизирующий слой из интерметаллического соединения  $Cu_3Sn$ , карбидообразующего подслоя – пиролитического вольфрама и поликристаллической алмазной пленки, легированной бором.

К капиллярно-пористому слою с помощью коллекторной системы специальных каналов подводился и отводился теплоноситель для

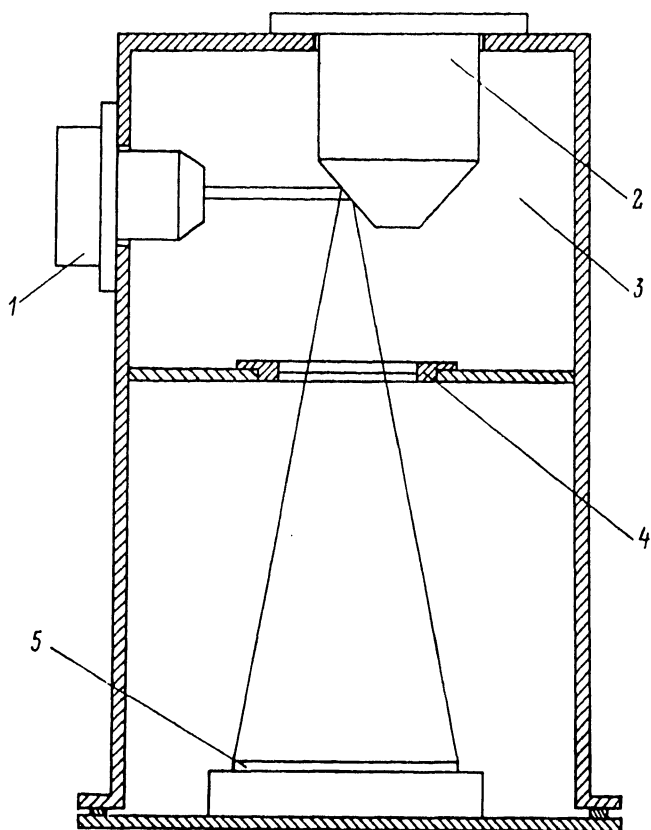


Рис. 2. Схема источника мягкого рентгеновского излучения: 1 – электронная пушка, 2 – охлаждаемый анод, 3 – вакуумная камера, 4 – окно, 5 – экспонируемый резист.

охлаждения структуры. В качестве теплоносителя использовалась дистиллированная вода. Контур охлаждения обеспечивал прокачку воды через анод в количестве 2.0 л/мин при давлении до 10 атм.

Цель испытаний анода состояла в определении максимальной тепловой мощности предложенного анода и эффективности его применения в устройствах рентгеновской литографии.

В процессе испытаний анод бомбардировался пучком электронов, мощность которого могла варьироваться от 0 до 5 кВт. Диаметр фокусного пятна составлял 4–5 мм, таким образом, максимальная плотность тепловой нагрузки могла достигать  $10 \text{ кВт/см}^2$ .

В ходе экспериментов мощность электронного пучка постепенно повышалась с нуля до максимальной величины, при которой начиналась эрозия мишени анода, наблюдаемая по характерному свечению зоны облучения. Величина плотности мощности электронного пучка, соответствующая началу этого процесса, и принималась за искомую удельную тепловую мощность анода.

Результаты испытаний показали, что анод имеет удельную тепловую мощность, равную  $3 \pm 0.2$  кВт/см<sup>2</sup>, что примерно в два раза превышает аналогичные значения для других известных конструкций охлаждаемых анодов, но без капиллярно-пористой структуры.

В результате испытаний была подтверждено высокая стабильность и надежность работы анода в условиях теплового нагружения, а также эффективность его использования в установках рентгеновской литографии.

Источник мягкого рентгеновского излучения устройств рентгеновской литографии с данным охлаждаемым анодом при одинаковой тепловой мощности имеет значительно меньшие габариты и меньшую стоимость изготовления. Использование для облучения резистов излучения с длиной волны 44.7 Å обеспечивает повышение производительности процесса экспонирования в 4–5 раз.

Следует отметить, что применение предложенного анода дает возможность исключить использование природного алмаза, при этом рабочая поверхность, покрываемая пленкой, может значительно превышать размеры самых больших его кристаллов.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработан и создан высокомошный охлаждаемый анод источника мягкого рентгеновского излучения, надежный и технологичный в изготовлении, позволяющий увеличивать производительность рентгенолитографических установок.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] В а л и е в К.А., Р а к о в А.В. Физические основы субмикронной литографии в микроэлектронике. М.: Радио и связь, 1984. 350 с.
- [2] Хьюс Дж.П., Финк Р.К. // Электроника, 1978. Т. 51. № 23. С. 23–25.
- [3] П а т е н т США № 4130772. Вращающийся анод источника рентгеновского излучения, 1977.
- [4] П а т е н т ЕР № 0118955. Мощный источник рентгеновских лучей с улучшенным охлаждением анода, 1984.
- [5] П а т е н т США № 4266138. Алмазный анод для генерации мягкого рентгеновского излучения высокой интенсивности и способ экспонирования слоев, чувствительных к рентгеновскому излучению, 1978.
- [6] А п о л л о н о в В.В., Б у й л о в Л.Л., Г р е в - ц е в Н.В., Г р и ц е н к о А.Л., О с т р о в с к а я Л.М., П р о х о р о в А.М., С а ж н е в С.В., С п и ц ы н Б.В., Х о м и ч В.Ю., Ш у б и н А.А. Анод источника мягкого

рентгеновского излучения, авторское свидетельство № 116801  
1983.

[7] Б у й л о в Л.Л., А л е к с е н к о А.Е., Б о т е в А.А.,  
С п и ц ы н Б.В. // Докл. АН СССР. 1986. Т. 287. № 4.  
С. 888-891.

Институт общей  
физики  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
5 июня 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 15 12 августа 1990 г.  
04; 10

© 1990

### УСИЛЕНИЕ ТОКА ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ МОДУЛИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ЧЕРЕЗ СЛАБОИОНИЗОВАННУЮ ПЛАЗМУ

П.В. В е д е н и н

Одним из интересных явлений, сопровождающих транспортировку электронных пучков через плазму, является усиление тока. Экспериментально этот эффект наблюдался при инжекции непрерывных пучков в нейтральный газ низкого давления ( $10^{-5}$ -1 Тор) [1-6], высокого давления (20-500 Тор) [3, 5, 7], в заранее приготовленную плазму [8]. Зафиксированы коэффициенты усиления (отношение полного тока к пучковому), не превышающие пяти. Единственный эксперимент, в котором отмечалось десятикратное увеличение тока, проводился с использованием модулированного электронного пучка [9].

Механизмы появления плазменного тока, сопутствующего пучковому, связываются с дрейфом электронов плазмы в электрическом и магнитном полях ненейтрализованного пучка [1], с поперечным движением пучка в электрически проводящем канале [10] и с передачей импульса от электронов пучка электронам плазмы при развитии пучковой неустойчивости [11]. Теоретическое исследование эффекта усиления тока, сопровождающего транспортировку глубоко модулированного электронного пучка через слабоионизованную плазму, до настоящего времени не проводилось.

Начиная с момента времени  $t = 0$ , в полупространство  $z \geq 0$ , заполненное холодной слабоионизованной плазмой с концентрацией  $n_{p0}$ , вдоль оси  $OZ$  инжектируется со скоростью  $v_0$  модулированный по плотности с частотой  $\omega_0$  ( $\omega_0 \gg \omega_{p0} \gg v_0$ ,  $v_0$  - частота транспортных столкновений электронов плазмы,  $\omega_{p0}^2 = \frac{4\pi e^2 n_{p0}}{m}$ ) и глубиной  $M$  поток электронов длительности  $t_f$  и радиуса  $r_f$ .