

Таким образом, на примере фотоэлементов с двусторонней чувствительностью с двумя р-п-переходами обнаружена зависимость скорости деградации параметров р-п-переходов от направления облучения. Наблюдаемый эффект влияния направленности облучения связан с передачей импульса быстрыми частицами примесным атомам, приводящий к увеличению примесных атомов, а тем самым и к расширению р-п-перехода.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] В а в и л о в В.С., У х и н Н.А. Радиационные эффекты в полупроводниках и полупроводниковых приборах. М.: Атомиздат, 1969. 311 с.
- [2] К о р ш у н о в Ф.П., Г а т а л ь с к и й Г.В., И в а н о в Г.М. Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах. Минск: Наука и техника, 1978. 231 с.
- [3] Г р и г о р ь е в а Г.М., К р е н и н Л.Б., Л а н д с м а н А.П. // Гелиотехника. 1971. № 5. С. 3-16.
- [4] А р и ф о в У.А., А р с е н и н В.В., К у л а ч и н А.И., Ч и р в а В. // Гелиотехника. 1978. № 1. С. 80-84.
- [5] Г е р а с и м о в Е.М., Г р и г о р ь е в а Г.М., Ч е т в е р и к о в а Г.А. // Гелиотехника. 1977. № 2. С. 3-8.
- [6] С е р я г и н В.Г., С е р я г и н а П.В., С м и р н о в Л.С., Р о м а н о в С.И., О б о д н и к о в В.И. // ФТП. 1973. Т. 1. В. 1. С. 183-185.
- [7] Д ж а ф а р о в Т.Д. Тез. докл. 1 Всес. семинара „Низкотемпературное легирование полупроводниковых и многослойных структур микроэлектроники“. Устинов, 1987. С. 14.

Поступило в Редакцию
21 декабря 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 5
06.3; 07

12 марта 1989 г.

ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ В МНОГОСЛОЙНОМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ ИЗ СВЕРХТОНКИХ АМОРФНЫХ ПЛЕНОК

В.Е. Сотин, В.И. Анкинин, А.Ю. Агапов, В.М. Шевцов

В настоящее время внимание исследователей, работающих в области нелинейной интегральной оптики, привлекают, наряду с традиционными градиентными планарными и канальными волноводными структурами, нелинейные пленочные волноводы [1]. Для достижения

высоких значений эффективности нелинейных преобразований, например генерации гармоник или параметрического преобразования частот, необходимо, чтобы пленочный волновод удовлетворял следующим требованиям. Материал пленки должен обладать высокой нелинейностью и показателем преломления, сильно отличающимся от показателя преломления подложки. Кроме того, параметры волноводной структуры должны обеспечивать возможно большее значение интеграла перекрытия полей взаимодействующих волн при выполнении условия их фазового синхронизма.

Эффективным средством решения этой проблемы оказалось использование многослойных пленочных волноводных структур. Удачные варианты были рассмотрены для случая малого числа слоев (относительно толстые пленки, толщина каждой сравнима с длиной волны) [2, 3]. Однако, на наш взгляд, использование действительно многослойных волноводных структур из сверхтонких (толщины много меньше длины волны) пленок представляет гораздо более широкие возможности.

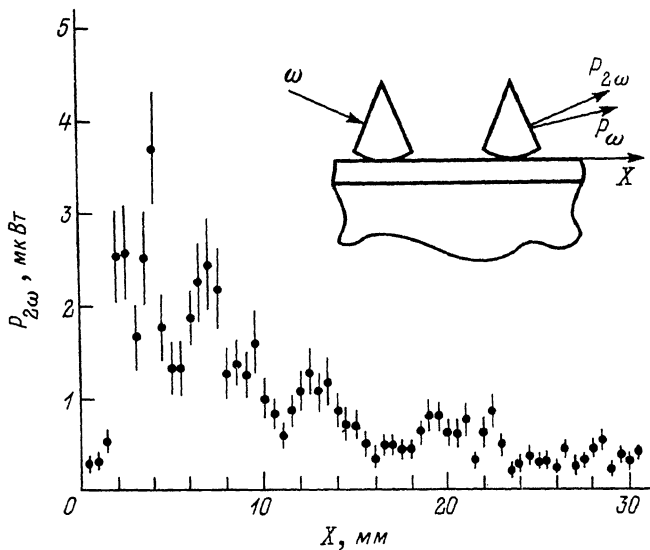
Основные принципы этого подхода были продемонстрированы в работе [4]. Волноводный слой состоял из сверхтонких периодически чередующихся поликристаллических нелинейных и аморфных линейных пленок с существенно различными показателями преломления. Искусственная отрицательная анизотропия многослойной структуры [5, 6] позволила реализовать фазовый синхронизм основных волноводных волн — $H_{0\omega}$ на частоте накачки и $E_{02\omega}$ на удвоенной частоте. При этом нелинейность поликристаллических пленок толщиной 10–15 нм была близка к величине, характерной для монокристалла, а субмикронная толщина волноводного слоя обеспечивала высокую степень локализации мощности волны накачки.

Несомненный интерес представляют специфические нелинейные оптические свойства эпитаксиальных полупроводниковых сверхрешеток. В работе [7] теоретически предсказано появление в сверхрешетке $GaAs-GaAlAs$ не свойственной монокристаллам компоненты тензора нелинейной восприимчивости второго порядка. Показано, что искусственно введенная асимметрия потенциального профиля сверхрешетки приводит к возникновению квадратичной нелинейности.

Асимметрия потенциального профиля обнаружена и в многослойных структурах из пленок гидрогенизированного аморфного кремния $\alpha-Si:H$ и аморфного нитрида кремния $\alpha-SiN_x:H$ [8]. Она объясняется авторами как результат различия в напряженностях „встроенных полей“ на границах каждого слоя, которое связано с повышенной плотностью структурных дефектов на границе „кремний на нитриде“.

Предположив наличие подобной асимметрии в структурах из сильно отличающихся по ширине запрещенной зоны пленок Ta_2O_5 и SiO_2 , границы между которыми достаточно резкие [9], можно было надеяться на обнаружение квадратичной нелинейности.

В настоящей работе впервые наблюдалась генерация второй гармоники лазерного излучения в многослойной волноводной структуре из периодически чередующихся сверхтонких аморфных пленок



Распределение мощности излучения второй гармоники $P_{2\omega}$ вдоль направления распространения волноводных волн. Мощность излучения накачки $P_{\omega} = 9$ Вт.

Ta_2O_5 и SiO_2 .

Исследуемые структуры изготавливались методом ВЧ реактивного распыления мишеней из металлического тантала и плавленного кварца в атмосфере кислородно-аргоновой смеси с содержанием кислорода 70%. В качестве подложек использовались пластины из кварцевого стекла КУ-1.

Волноводный слой толщиной 0.665 мкм состоял из 70 периодов. Выбор такой толщины был обусловлен необходимостью обеспечения фазового синхронизма основных волноводных волн $H_{0\omega}$ и $E_{02\omega}$, интеграл перекрытия которых максимален. При этом, как и в работе [4], использовалась искусственная отрицательная анизотропия многослойной структуры [5, 6, 9], показатели преломления которой на длине волны накачки $\lambda = 1.064$ мкм составляли $n_{0\omega} = 1.719$, $n_{e\omega} = 1.639$, а на второй гармонике — $n_{02\omega} = 1.761$, $n_{e2\omega} = 1.667$.

Рентгеноструктурный анализ на дифрактометре ДРОН-2 с использованием излучения $CuK\alpha$ показал, что исследуемая структура рентгеноаморфна.

Источником излучения накачки в эксперименте по генерации второй гармоники служил $Nd:YAG$ лазер ЛТИ ПЧ-4 в режиме свободной генерации. В качестве элементов ввода и вывода излучения использовались призмы из стекла ТФ-5. Излучение лазера фокуси-

ровалось линзой с фокусным расстоянием 0,50 м. Регистрация выходного излучения проводилась с помощью ФЭУ-62 и осциллографа С1-79.

В ходе эксперимента выводная призма перемещалась вдоль трека волны накачки. При этом обеспечивался полный вывод излучения накачки и второй гармоники, а уровень излучения накачки поддерживался постоянным, равным 9 Вт в импульсе.

На рисунке приведены результаты измерения распределения мощности излучения второй гармоники $P_{2\omega}$ вдоль направления распространения волноводных волн. Нерегулярный характер распределения можно объяснить неоднородностью полученной структуры в плоскости подложки. По начальному участку распределения с учетом длины связи волновода и выводной призмы можно оценить когерентную длину нелинейного взаимодействия: $l_K \approx 0,5$ мм. Это значение согласуется с оценкой, полученной на основе измерения ширины линии излучения второй гармоники: $l_K \approx 0,3$ мм.

Обнаружение в эксперименте квадратичной поляризуемости многослойной структуры из сверхтонких аморфных пленок Ta_2O_5 и SiO_2 позволяет сделать следующие выводы.

Воздействие межпленочной границы на материал слоя проявляется в нарушении центральной симметрии потенциальной ямы связанного электрона.

Степень асимметрии потенциальных ям, расположенных вблизи верхней и нижней границ каждого слоя, вносящего вклад в генерацию второй гармоники, различна.

Иными словами, нарушение инверсионной симметрии связывается как на микроуровне, в областях с характерными размерами порядка размеров области локализации связанного электрона, так и на структурном уровне, на длинах порядка нелинейных слоев.

По нашему мнению, наиболее вероятной причиной нарушения инверсионной симметрии являются сильные электрические поля на границах [10, 11]. Поля на верхней и нижней границах каждого слоя, как это отмечено и в [12], отличаются по величине. По-видимому, это связано с различием в условиях осаждения пленки Ta_2O_5 на SiO_2 и пленки SiO_2 на Ta_2O_5 . Наличие в пленках механических напряжений также может оказать влияние на величину нелинейности [11].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S t e g e m a n G.I., S e a t o n C.T. // J. Appl. Phys. 1985. V. 58. No. 12. P. R57-R78.
- [2] I t o H., I n a b a H. // Opt. Lett. 1978. V. 2. No. 2. P. 139-143.
- [3] А х м е д и е в Н.Н., Н о в а к В.Р. // Оптика и спектроскопия. 1985. Т. 58. № 4. С. 913-915.
- [4] Д е р ю г и н Л.Н., С о т и н В.Е., Ш е в ц о в В.М. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. № 2. С. 81-85.

- [5] С о т и н В.Е., Ш е в ц о в В.М. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. № 8. С. 475-479.
- [6] K i t a g a w a M., T a t e d a M. // Appl. Opt. 1985. V. 24. No 20. P. 3359-3362.
- [7] K h u r g i n J. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. No 25. P. 2100-2102.
- [8] R o x l o C.B., A b e l e s B., T i e d j e T. // Phys. Rev. Lett. 1984. V. 52. No. 25. P.2100-2102.
- [9] А г а п о в А.Ю., С о т и н В.Е., Ш е в ц о в В.М. // Оптика и спектроскопия. 1988. Т. 65. № 1. С. 217-220.
- [10] К е л и х С. Молекулярная нелинейная оптика. М.: Наука, 1981. 672 с.
- [11] Б и р м а н Д. Пространственная симметрия и оптические свойства твердых тел. М.: Мир, 1978, т. 2. 352 с.
- [12] Г р и б к о в с к и й В.П., З ю л ь к о в В.А., К а з а ч е н к о А.Э. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 10. С. 874-877.

Университет
Дружбы народов
им. Патриса Лумумбы

Поступило в Редакцию
21 декабря 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 5
10

12 марта 1989 г.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ПОВОРОТУ НА 180° СИЛЬНОТОЧНОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ В ВИНТОВОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

М.А. А л е к с е е в, Б.Ф. Б а б е н к о, В.Д. З ю з и н,
В.Н. К а н у н н и к о в, А.А. К о с а р е в,
А.К. М я з д р и к о в, С.Г. Р о т т, Н.В. С у л х а н о в

Для формирования пространственной винтовой орбиты пучка [1] в индукционном линотроне [2] на участке поворота на 180° предложено использовать ПФМ¹ с однородным вертикальным полем B_z и тороидальным полем $B_\theta(r) = B_\theta(R)(R/r)$ (применяется цилиндрическая система координат r, θ, z ; R - большой радиус тора). Система круглых катушек ПФМ охватывает вакуумную камеру-тороидальный электропровод из нержавеющей стали с внутренним радиусом сечения 7 см и толщиной стенки ~ 0.5 см. Катушки равномерно распределены по длине камеры с периодом ~ 10 см, $R = 100$ см. Составляющая B_z возбуждается двумя одинаковыми рамками, имеющими форму полуколец и лежащими выше

¹ Поворотнo-фокусирующий магнит.