легания активной области от освещаемой плоскости [1]. Следует также обратить внимание на то, что спектральный контур $\mathscr{P}_i$ «затянут» в длинноволновую область относительно нелегированного $CdSiAs_2$ [4], причем на его склоне четко выделяются два пика. Один из них при $\hbar\omega \simeq 1.30$ эВ согласуется с энергетическим положением длинноволнового максимума в спектре фоточувствительности (рис. 2, кривые *1*, *1'*) и может быть приписан возникновению донорных центров в слое n-типа. Второй максимум в спектре $\mathscr{P}_i$ при $\hbar\omega \simeq 1.1$ эВ также, вероятно, обусловлен изменениями в электронном спектре $CdSiAs_2$ при конверсии типа проводимости. При освещении структур со стороны слоя n-типа (рис. 3, кривая *2*) коэффициент фотоплеохроизма во всей области фоточувствительности инвертирует знак на отрицательный, а вблизи энергии A-перехода стремится к предельному значению $|\mathscr{P}_i| \simeq 100$ %. Это характерные признаки случая, когда активная область структуры удаляется от освещаемой поверхности на расстояния, превышающие длину диффузионного смещения фотогенерированных носителей заряда [1]. В данном случае это означает, что длина диффузионного смещения фотодырок в тонком слое n-типа оказывается намного меньше глубины залегания активной области. С учетом того, что удельное сопротивление n-слоя много меньше, чем p-области, можно считать, что активная область структуры практически полностью лежит в p-$CdSiAs_2$. Трансформация в спектре фотоплеохроизма, которая происходит при освещении торца n—p-$CdSiAs_2$ (рис. 3, кривая *3*), когда поглощением в прилегающем к активной области структуры вещества можно пренебречь, подтверждает справедливость проведенной интерпретации.

В заключение приведем максимальные значения азимутальной поляризационной вольтовой $\Phi_U \simeq 500$ В/Вт·град и токовой $\Phi_i \simeq 0.2$ мА/Вт·град фоточувствительностей ($T=300$ К), которые достигаются в случае освещения n—p-$CdSiAs_2$ со стороны p-области. Эти оценки указывают на возможность применения полученных структур в поляриметрии ближнего ИК диапазона.

Литература

[1] *Рудь Ю. В.* // Изв. вузов. Физика. 1986. № 8. С. 68—83.
[2] *Довлетмурадов Ч., Овезов К., Прочухан В. Д.* и др. // Письма в ЖТФ. 1975. Т. 1. Вып. 19. С. 878—881.
[3] *Довлетмурадов Ч., Овезов К., Прочухан В. Д.* и др. // ФТП. 1976. Т. 10. Вып. 9. С. 1659—1663.
[4] *Лебедев А. А., Овезов К., Прочухан В. Д.* и др. // Письма в ЖТФ. 1976. Т. 2. Вып. 9. С. 385—390.
[5] Арсенид галлия. Получение, свойства и применение / Под ред. Ф. П. Кесаманлы, Д. Н. Наследова. М.: Наука, 1973. 471 с.
[6] *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов. М.: Мир, 1984. Т. 1. 455 с.
[7] *Панков Ж.* Оптические процессы в полупроводниках. М.: Мир, 1973. 456 с.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
12 февраля 1988 г.

05; 06; 07; 11; 12 *Журнал технической физики,* **59**, в. 6, 1989

ОПТИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ НА ПЛЕНКАХ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ С СУБМИКРОННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

В. П. Королъков, В. П. Чернухин

В настоящее время уделяется много внимания различным областям применения аморфных полупроводников, в том числе появился ряд публикаций об исследованиях возможности их применения в качестве материала для оптической записи [1–3]. В работах [1, 2] для записи на пленках аморфного негидрогенизированного кремния (*a*-Si) использовался тот факт, что под действием интенсивного лазерного излучения пленка переходит из аморфного состояния в поликристаллическое и значительно уменьшается коэффициент поглощения в диапазоне длин волн 400—800 нм. Однако совершенно не было изучено пространственное разрешение такого способа прямой оптической записи. В данной работе сообщается о получении при записи на пленках *a*-Si сфокусированным лазерным лучом пространственного разрешения,

значительно превышающего разрешение оптической системы, а также о возможности использования пленок *a*-Si для создания полутоновых фотошаблонов.

Пленки аморфного кремния толщиной 100—200 нм напылялись на стеклянную подложку методом ионного плазменного распыления кремниевой мишени в атмосфере аргона при давлении $7 \cdot 10^{-3}$ Па. Ускоряющее напряжение на мишени 4.2 кВ. Температура подложки составляла не более 60 °С. При этих условиях скорость напыления лежала в пределах 1.5—2 нм/с.

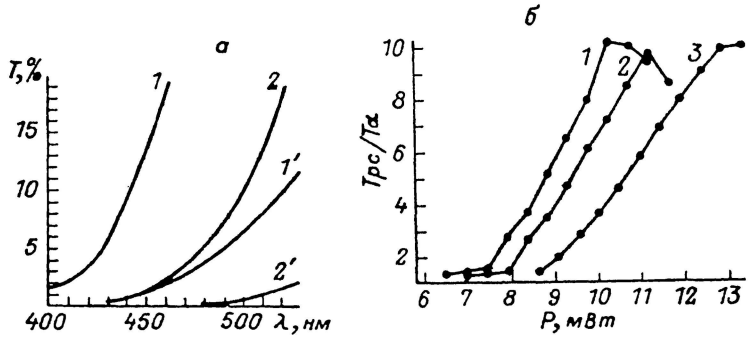

Рис. 1.

а — спектральная зависимость коэффициента пропускания *T* *pc*-Si (*1*, *2*) и *a*-Si (*1'*, *2'*) при толщине пленки 100 (*1*, *1'*) и 200 нм (*2*, *2'*); *б* — зависимость отношения коэффициентов пропускания *pc*-(T_{pc}) и *a*-Si (T_a) от мощности записывающего пучка (*P*) при различных скоростях сканирования: *1* — 49, *2* — 82, *3* — 140 см/с.

Для экспонирования пленок использовался прецизионный лазерный фотопостроитель, в котором подложка с пленкой приводится во вращение с постоянной скоростью (2—10 $с^{-1}$) и на заданном радиусе излучение аргонового лазера (длина волны 514 нм) фокусируется микрообъективом (40×0.65) в пятно диаметром 0.8 мкм [4].

Для измерения коэффициента пропускания использовался микроскоп-спектрофотометр MPV2 фирмы Leitz. На рис. 1, *а* представлены графики спектральной зависимости коэффи-

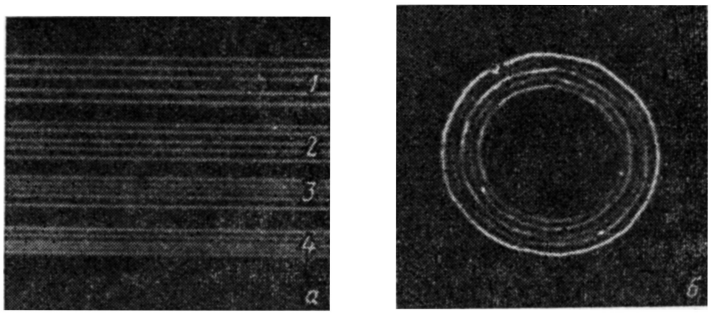

Рис. 2. Микрофотография теста на разрешение.

а — при скорости сканирования 100 см/с; период линий в группах: *1* — 1, *2* — 0.79, *3* — 0.63, *4* — 0.48 мкм; *б* — при средней скорости сканирования 100 мкм/с с периодом линий 0.79 мкм.

циентов пропускания аморфного и отожженного лазером поликристаллического (*pc*-Si) кремния при толщинах пленки 100 и 200 нм. Оптимальная с точки зрения соотношения контраста и коэффициента пропускания *pc*-Si запись получена на пленках толщиной 100 нм, где контраст равен 10, а коэффициент пропускания *pc*-Si — 9 %. Данные приведены для длины волны $\lambda = 440$ нм, на которой большинство фоторезистов имеет высокую чувствительность. На рис. 1, *б* показаны зависимости отношения коэффициентов пропускания (контраста) для пленок *pc*-Si (T_{pc}) и *a*-Si (T_a) толщиной 100 нм ($\lambda = 440$ нм) от мощности записывающего лазерного пучка при различных скоростях сканирования. Уменьшение контраста после максимума связано с началом плавления пленки и искажением поверхности после кристаллизации, вследствие чего резко возрастает светорассеяние. Предшествующее этому монотонное и плавное увеличение коэффициента пропускания с нарастанием мощности может быть объяснено последовательным проходом в зависимости от температуры через промежуточные амор-

фно-поликристаллические состояния структуры пленки, имеющие коэффициент поглощения меньший, чем первоначальная фаза [5]. Используя достаточно близкую к линейной зависимость контраста от мощности лазерного пучка, можно изготавливать на пленках аморфного кремния полутоновые фотошаблоны, необходимые для создания высокоэффективных дифракционных оптических элементов [4]. При переносе топологии полутонового фотошаблона в фоторезист для работы на линейном участке его характеристики достаточно иметь максимальный диапазон модуляции пропускания фотошаблонов от 1 : 4 до 1 : 10. Низкое пропускание просветленных лазерным лучом участков пленки кремния можно скомпенсировать увеличением экспозиции при копировании и выбором фоторезиста с высокой чувствительностью.

Одним из важнейших параметров регистрирующей среды является разрешающая способность. Она определяется как диаметром лазерного записывающего пучка в фокусе, так и свойствами материала, в том числе нелинейностью используемого для записи процесса. Исследование пространственного разрешения прямой оптической записи на пленках *a*-кремния показало возможность получения линий шириной 0.25—0.4 мкм при диаметре записывающего пучка 0.8 мкм.

На рис. 2, *а* показана микрофотография групп линий, записанных при скорости сканирования 100 см/с с периодом от 0.48 до 1 мкм, а на рис. 2, *б* — при скорости сканирования 100 мкм/с (радиус 8 мкм) с периодом 0.79 мкм. Некоторая неравномерность периода обусловлена влиянием микросейсмов на фотопостроитель. Высокое разрешение в широком диапазоне скоростей и получение линий, в 2—3 раза меньших диаметра записывающего пучка, может быть объяснено следующими причинами. Во-первых, аморфный кремний имеет теплопроводность, на порядок меньшую, чем кристаллический кремний [6], что существенно уменьшает расплывание температурного распределения, индуцированного лазерным лучом в пленке. Во-вторых, из-за просветления пленки в процессе записи уменьшается поглощение лазерного излучения. В сочетании с гауссовским распределением интенсивности в фокальном пятне это приводит к остановке роста температуры и локализации структурных превращений в небольшой зоне в центре пятна. Такой механизм увеличения разрешения записи без применения высокоапертурных микрообъективов или коротковолновых лазеров указывает на перспективность поиска материалов, просветляющихся под действием лазерного излучения.

Литература

[1] *Janai M., Moser F.* // J. Appl. Phys. 1982. Vol. 53. N 3. P. 1385—1386.
[2] *Lee Ming Shih, Tseng Chau Jern, Huang Chien Rong, Huang Tzer Hsiang.* // Jap. J. Appl. Phys. 1987. Pt 1. Vol. 26. N 2. P. 193—196.
[3] *Rao L. K., Harshavardhan K. S., Selvarajan A., Hegde M. S.* // Appl. Phys. Lett. 1986. Vol. 49. N 13. P. 826—828.
[4] *Коронкевич В. П., Ленкова Г. А., Михальцова И. А.* и др. // Автометрия. 1985. № 1. С. 4—25.
[5] *Baeri P., Barbarino A. E., Campisano S. V.* // Laser and Electron Beam Interactions with Solids. New York, 1982. P. 227—232.
[6] *Webber H. C., Gullis A. G., Chew N. G.* // Appl. Phys. Lett. 1983. Vol. 43. N 7. P. 669—671.

Институт автоматики и электрометрии
СО АН СССР
Новосибирск

Поступило в Редакцию
15 февраля 1988 г.

05; 09 *Журнал технической физики, т. 59, в. 6, 1989*

РАССЕЯНИЕ ОБЪЕМНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ДИНАМИЧЕСКОЙ МАГНИТНОЙ РЕШЕТКЕ

А. Н. Мясоедов, Ю. К. Фетисов

Распространение магнитостатических спиновых волн (МСВ) в пленках феррита с пространственно-временной периодичностью свойств сопровождается эффективным рассеянием, что может быть использовано для управления характеристиками волн в устройствах спинволновой электроники. Экспериментально исследовано рассеяние МСВ без изменения ча-