

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬФА-МЫШЬЯКА В ВАКУУМНОЙ РЕНТГЕНОЛИТОГРАФИИ

Б. А. Ольшангер, В. Л. Канцирев, А. С. Шляпцева

Одним из наиболее перспективных направлений развития современной микроэлектроники являются вакуумные технологии. Качество микролитографии, в значительной мере определяющее качество технологии в целом, может быть существенно поднято за счет проведения основных операций в вакууме. К сожалению, большинство используемых резистов нанесение и обработка которых связаны с применением различных газов и жидкостей, несовместимо с вакуумом [1]. Сухие пленочные резисты свободны от этого недостатка, но низкая чувствительность и разрешающая способность делают их применение чрезвычайно ограниченным. Перспективными сегодня можно считать лишь материалы с чувствительностью, например, по мягкому рентгеновскому излучению не хуже  $10^{-3}$  Дж/см<sup>2</sup> и разрешающей способностью не ниже  $10^3$  мм<sup>-1</sup>, причем эти материалы должны подразумевать «сухую» обработку и по возможности работать в реальном масштабе времени. Таких материалов практически нет, поэтому поиск новых физических эффектов, способных привести к их созданию, представляется весьма актуальным.

С этой точки зрения привлекают внимание фото- и радиационно-стимулированные фазовые превращения в элементах V группы периодической системы [2, 3]. Низкотемпературные метастабильные аллотропные модификации фосфора, мышьяка (в дальнейшем обозначаемые индексом  $\alpha$ ) под воздействием актиничного излучения переходят в одну из более стабильных модификаций, как правило, в полупроводниковую аморфную модификацию, обозначаемую в дальнейшем индексом  $\beta$ . Наиболее удобен и перспективен с прикладной точки зрения  $As_\alpha$ , чувствительность которого гораздо выше, чем у  $P_\alpha$ , и в то же время ниже, чем у  $Sb_\alpha$ , в котором указанное превращение происходит неконтролируемо. Наличие

в спектре поглощения  $As_\alpha$  большого максимума в области 1.0–1.5 кэВ, совпадающего с областью энергии мягкого рентгеновского излучения (МРИ), генерируемого на установках типа «Микропинч» [4, 5], позволяло рассчитывать на проявление значительной чувствительности его к этому излучению. Интерес к указанной системе усугублялся полученной ранее информацией [6] о достижимой на ней высокой разрешающей способности (не менее 3000 мм<sup>-1</sup>).

Для проверки этих предположений был создан комплекс, включающий источник МРИ типа «Микропинч» и установку для вакуумного напыления и обработки слоев  $As_\alpha$ . Обе установки имели общую вакуумную систему на основе турбомолекулярного агрегата с вакуумными подшипниками [5].  $As_\alpha$  конденсировался на подложки из стекла типа К-8, InP и GaAs при температуре поверхности подложек 200 К. Известно [2, 3], что при таких условиях напыления мышьяк конденсируется в виде  $\alpha$ -модификации, причем «время жизни» при указанной температуре неопределенно велико. Защита слоя  $As_\alpha$  от света в видимой и УФ области и от потока горячей плазмы разряда проводилась с помощью двухслойного откачного лабиринта с бериллиевым окном толщиной 20 мкм, дополнительно снабженным пленкой алюминизированного лавсана (толщина лавсана 1 мкм, алюминиевого покрытия на нем 0.2 мкм). Перед подложкой со слоем устанавливался рентгеношаблон из полиимида с нанесенным на него тестовым рисунком, выполненным из золота. Параметры излучения измерялись с помощью многоканального спектрометра с термолюминесцентными датчиками и обзорного рентгеновского спектрографа с выпуклым кристаллом слюды, изготовленного по методике, описанной в [5].

Изображения формируются на слоях  $As_\alpha$  в реальном масштабе времени и подлежат последующей фиксации путем удаления незасвеченных участков, как это описано в работе [7]. При нагреве слоя с изображением от 200 К до комнатной температуры с достаточной скоростью незасвеченные участки слоя сублимируют с подложки, засвеченные же участки ( $\beta$ -модификация) не претерпевают в этих условиях никаких изменений.

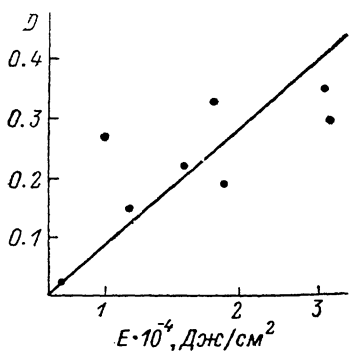


Рис. 1.

Результат экспонирования в виде характеристической кривой при использовании Fe анода с напряжением 14 кВ представлен на рис. 1. Из хода кривой видно, что чувствительность  $As_x$  в указанной энергетической области составляет  $1-5 \cdot 10^{-4}$  Дж/см<sup>2</sup>, что в 20—30 раз превышает чувствительность традиционных негативных резистов. Анализ тестовых изображений показал, что при характерных размерах элементов изображения порядка 1 мкм они имеют четкие границы и хороший контраст.

Наиболее эффективное использование предлагаемых слоев может иметь место при совпадении области максимального поглощения слоя с областью наибольшей интенсивности источника. На рис. 2 представлен спектр поглощения мышьяка с нанесенными на него спектрами

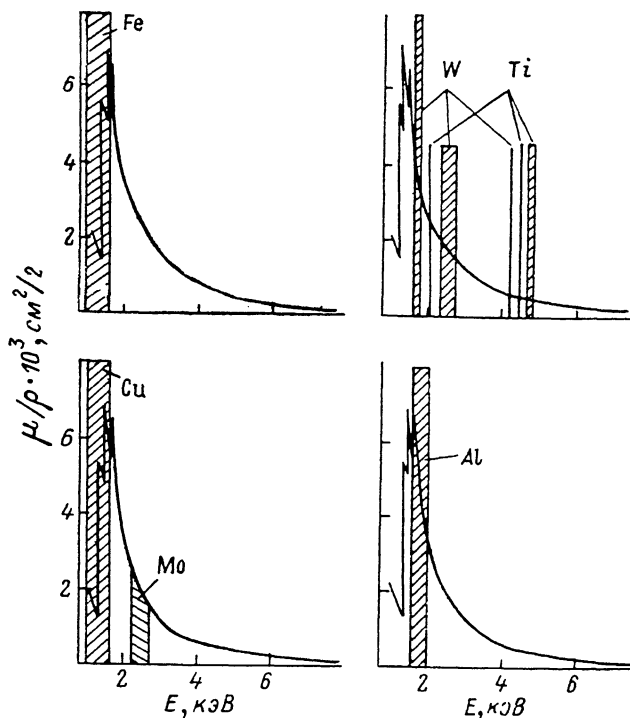


Рис. 2.

испускания МРИ при применении анодов из различных материалов в условиях одинаковой фильтрации излучения. Расшифровка спектров проведена на основе данных, заимствованных из работ [8—10].

Наилучшие результаты с учетом различия в интенсивности излучения различных анодов [5] получены на Fe анодах при напряжении 12.5—17 кВ в общей области 0.7—1.3 нм. Несколько хуже совпадение спектров на Al анодах — (0.6—0.8 нм) и на анодах из Ti линии (0.263, 0.275, 0.250, 0.575 нм). Еще менее активно излучение на анодах из никеля (области 0.60—0.70 и 0.43—0.53 нм), а также на Mo анодах (0.45—0.50 и 0.43—0.53 нм).

Таким образом, показана возможность реализации рентгенолитографии с применением МРИ на слоях альфа-мышьяка. Рекордная чувствительность слоя, высокая разрешающая способность, проведение всех операций в одном вакуумном объеме, отсутствие стадии проявления изображения и предельная простота его фиксации делают предлагаемый метод заслуживающим внимания и дальнейшей разработки с целью использования его в производстве интегральных и интегрально-оптических микросхем. Метод хорошо реализуется с использованием весьма перспективных источников МРИ типа «Микропинч», особенно с применением Fe и Cu анодов. Несмотря на низкую химическую стойкость мышьяка, слой на основе  $As_3$  могут быть использованы в качестве рентгенорезистов при использовании их в технологии обратной (взрывной) литографии или для последующей имплантации изображений в подложку.

Авторы выражают благодарность А. К. Зверькову и А. А. Кривцову за активную помощь в проведении эксперимента.

- [1] Бокос Ю. С. Фото-, электроно- и рентгенорезисты. М.: Радио и связь, 1982. 136 с.  
 [2] Календарев Р. И., Ольшвангер Б. А., Эйбус Я. А. // Успехи научной фотографии. 1980. Т. XX. С. 71—76.  
 [3] Сазонов А. И., Календарев Р. И., Эйбус Я. А. // ЖНиПФик. 1983. Т. 28. Вып. 5. С. 334—338.  
 [4] Канцурев В. Л. // Поверхность. 1983. Т. 28. Вып. 5. С. 50—56.  
 [5] Зверьков А. К., Канцурев В. Л., Кривцов А. А., Шляпцева А. С. // ЖТФ. 1986. Т. 56. Вып. 5. С. 975—977.  
 [6] Сазонов А. И., Календарев Р. И. // Изв. АН ЛатвССР. Сер. физ. и техн. наук. 1983. № 3. С. 35—40.  
 [7] Календарев Р. И., Ольшвангер Б. А., Сазонов А. И., Эйбус Я. А. А. С. 763841. БИ. 1980. № 34.  
 [8] Zigler A., Zmora H., Spector N. et al. // Opt. Soc. Amer. 1980. Vol. 70. N 1. P. 129—133.  
 [9] Clark W., Gersten M., Katzenstein I. et al. // J. Appl. Phys. 1982. Vol. 53. N 6. P. 4033—4104.  
 [10] Аглицкий Е. В., Гольц Э. Я., Левыкин Ю. А. и др. // Опт. и спектр. 1979. Т. 46. Вып. 6. С. 1043—1048.

Латвийский государственный  
университет им. П. Стучки  
Рига

Поступило в Редакцию  
23 июня 1988 г.

05; 07

Журнал технической физики, т. 59, в. 6, 1989

## ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ СРЕДАХ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Д. Т. Алимов, В. Я. Гольдман, Б. Л. Оксенгендлер, П. К. Хабибуллаев

Известно [1], что твердое тело в поверхностно-активных средах может существовать в виде массивного образца либо в виде дисперсии. Последнее состояние термодинамически устойчиво при выполнении условия  $\Delta F_0 = \alpha a - \beta kTA^3 < 0$ , здесь  $\Delta F_0$  — увеличение свободной энергии системы при диспергировании; первое слагается учитывает дополнительную энергию, возникающую при образовании поверхности диспергировавшей фазы, второе — возрастание энтропии при равномерном распределении множества диспергировавших частиц в объеме дисперсионной среды;  $\alpha$  — плотность поверхностной энергии,  $\alpha$  и  $\beta$  — константы порядка единицы. При этом необходимо, чтобы критический размер дисперсных частиц  $\delta_0 = 1/A_0 = \sqrt{3\beta kT/\alpha}$  был существенно больше молекулярных размеров.

### 1. Термодинамические соотношения

Рассмотрим теперь полупроводниковую дисперсную фазу, содержащую  $N_d$  и  $N_a$  донорных и акцепторных состояний на единицу объема, плотность поверхностных состояний у которой  $N_s$ . Свободная энергия диспергирования определяется  $\Delta F = \Delta F_0 + \delta F$ , где добавка  $\delta F$  обусловлена локализацией электронов их энтропией на поверхностных уровнях

$$\delta F = -\varepsilon_d N_d \Delta v_d - \varepsilon_a N_a \Delta v_a - \varepsilon_s N_s \Delta v_s - kT \Delta n \ln \frac{N_c}{n} - kT \Delta p \ln \frac{N_v}{p} +$$

$$+ kT N_d \Delta v_d \ln \frac{v_d}{2(1-v_d)} + kT N_a \Delta v_a \ln \frac{2v_a}{1-v_a} + kT N_s A \left[ v_s \ln v_s + (1-v_s) \ln \frac{1-v_s}{2} \right], \quad (1)$$

где  $\varepsilon_d$ ,  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_s$  — энергии донорных, акцепторных и поверхностных состояний, отсчитанные от дна зоны проводимости;  $v_d$ ,  $v_a$ ,  $v_s$  — концентрации электронов на соответствующих уровнях;  $\Delta v_d$ ,  $\Delta v_a$ ,  $\Delta n$  и  $\Delta p$  — изменения вероятностей заполнения уровней и концентраций носителей в разрешенных зонах при образовании дополнительной поверхности.