

щего покрытия, а при $\lambda > 1,5$ нм поглощение мембраны шаблонов слишком сильно (рис. 4). Исключение составляют лишь полимерные плёнки в диапазоне длин волн 4,2—6 нм. Наиб. распространение получили мембраны из кремния и его соединений — карбида, нитрида и оксинитрида. Используются также мембраны из нитрида бора, бериллия, полимеров — полиимида и парилена, а также комбинированные (нитрид бора — полимер и др.).

Резистивные плёнки для Р. л. формируют на подложке из раствора полимера методом центрифугирования. После сушки, в процессе к-рой удаляется растворитель, плёнку облучают и обрабатывают в жидкостном проявителе. Осн. характеристики резиста — чувствительность, контрастность, разрешающая способность и стойкость к последующим технол. процессам, в частности к плазмохим. травлению. Возможны и «сухие» методы нанесения резистов (плазменная полимеризация, термич. напыление) и проявления изображения в них (плазмохим. и УФ-травление, сублимация в вакууме). Рассматривается возможность применения и неорганич. материалов, напр. халькогенидных стёкол.

Благодаря большой проникающей способности рентг. излучения, малости эффектов рассеяния и высокого контраста при экспонировании Р. л. позволяет формировать в резистах субмикронные структуры с большим отношением высоты к ширине, а также формировать в однослойных резистах структуры со сложным профилем края (рис. 5), напр. нависающим. Последнее достигает



Рис. 5. РЭМ-фотография структур с различным профилем края, сформированных в позитивном резисте.

ся за счёт дополнит. экспозиции тонких слоёв резиста фотоэлектронами из подложки либо из шаблона. Перспективно применение двухслойных и трёхслойных резистов, значительно расширяющих возможности формирования структур со сложным профилем (рис. 6).

В установках Р. л. 1-го поколения в качестве источников излучения сужат рентг. трубки с неподвижным либо вращающимся водоохлаждаемым анодом мощностью в неск. кВт. Материалы анодов (и их λ) — Cu (1,33 нм), Al (0,834), Mo (0,54 нм), Pd (0,434 нм). Экспонирование осуществляется в вакуумной камере либо в атмосфере гелия. Недостаток таких источников — низкая производительность, обусловленная малым коэф. преобразования энергии электронного пучка в мягкое рентг. излучение ($\sim 10^{-5}$). Более производительны установки 2-го поколения, в к-рых точечными источниками излучения являются плазма, возбуждаемая лазерным излучением, или сильноточный разряд в газе.

Широкие возможности для Р. л. предоставляет использование синхротронного излучения накопит. колец на энергию 0,6—1 ГэВ с расположенными на них литографич. станциями (св. 10 на каждом накопит. кольце).

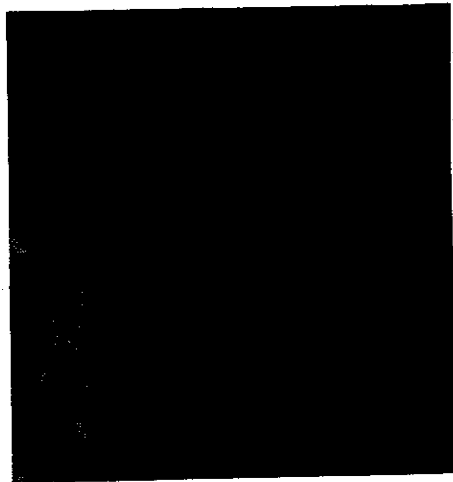


Рис. 6. РЭМ-фотографии структур со сложным профилем края, сформированных в двух- и трёхслойном рентгенорезистах.

Высокая интенсивность и хорошая коллимация синхротронного излучения позволяют создавать пром. системы с разрешением $\sim 0,1$ мкм при малых временах экспозиции и упрощают проведение операции совмещения маркерных знаков с точностью $\sim 0,02$ мкм и рисунков (с точностью $\sim 0,1$ мкм) на больших площадях. Дальнейший прогресс в области источников излучения для Р. л. связан с разработкой компактных синхротронов с электромагнитами из сверхпроводящих материалов.

Лит.: Spears D. L., Smith H. I., X-Ray lithography: a new high resolution replication process, «Solid State Technology», 1972, в. 15, № 7, р. 24; Аристов В. В. и др. Перспективы использования мягкого рентгеновского излучения в субмикронной литографии, «Поверхность. Физика, химия, механика», 1983, № 11, с. 5.

В. В. Аристов, В. А. Кудряшов.

РЕНТГЕНОВСКАЯ ОПТИКА — область исследований, в к-рой изучаются явления и процессы распространения рентг. излучения при его взаимодействии с веществом, а также разрабатываются элементы для рентг. приборов. При рассмотрении вопросов Р. о. рентг. диапазон условно делят на 3 области длин волн λ : область жёсткого — ЖР ($0,01 < \lambda < 1$ нм), мягкого — МР ($1 < \lambda < 30$ нм) и ультрамягкого — УМР ($30 < \lambda < 100$ нм) рентг. излучения.

Оптич. характеристики веществ в рентг. диапазоне обладают рядом особенностей. Во-первых, в рентг. диапазоне все атомы обладают низкой поляризуемостью по сравнению с более ДВ-диапазонами спектра (см. Поляризуемость рентгеновская). Рентг. кванты взаимодействуют с электронами внутр. оболочек атомов, причём для большинства электронов их энергия связана с ϵ_i меньше энергии рентг. кванта $\hbar\omega$ (ω — круговая частота излучения). За исключением узких областей вблизи точных резонансов вклад фотон-электронного взаимодействия в диэлектрич. проницаемость значительно меньше, чем вклад оптич. электронов в видимой и ИК-областях (см. Дисперсия света). По этой причине показатель преломления n в рентг. области для всех веществ мало отличается от 1 и почти во всём диапазоне $|n| < 1$ (только для нек-рых металлов в УМР-области $|n| > 1$). Элементы типа линз и призм в Р. о. практически не используются. Так, напр., собирающая линза из никеля с радиусами поверхностей $r = 1$ см при $\lambda = 0,1$ нм должна иметь фокусное расстояние ~ 100 м.

Вторая особенность взаимодействия рентг. излучения с веществом — значит. фотопоглощение, связанное с большой вероятностью фотоэффекта, при к-ром рентг. квант выбивает один из внутр. электронов атома. Величина линейного коэф. поглощения μ растёт с λ и особенно велика в МР- и УМР-областях (для твёрдых материалов $\mu \sim 10^2 - 10^5$ см $^{-1}$), поэтому слои веще-