

Зависимость физико-механических свойств эпитаксиальных слоев кремния от метода выращивания

© 2010 г.

*В.С. Просолович¹, Н.В. Вабищевич², Д.И. Бринкевич¹,
Ю.Н. Янковский¹*

¹Белорусский госуниверситет, Минск

²Полоцкий госуниверситет, Новополоцк

Эпитаксиальные слои (ЭС) кремния широко используются при изготовлении полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Несмотря на то, что в большинстве применений на первый план выступают электрофизические свойства ЭС, их механические характеристики также играют значительную роль, поскольку на различных стадиях технологического процесса они подвергаются различным механическим воздействиям (скрайбирование, посадка в корпус и т.д.). При этом в пленках могут развиваться сильные внутренние напряжения, приводящие к генерации микродефектов и снижению выхода годных приборов.

В настоящей работе исследованы физико-механические свойства эпитаксиальных слоев кремния, полученных методами газофазной и жидкофазной эпитаксии. Газофазная эпитаксия (ГФЭ) осуществлялась на стандартной промышленной установке при температуре 1150–1180 °С. Скорость роста ЭС составляла 0,8–1,0 мкм/мин. Жидкофазная эпитаксия (ЖФЭ) проводилась посредством кристаллизации из растворов-расплавов (Р-Р) на основе олова по сдвиговой технологии в интервале температур 1050–1000 °С. Принудительное охлаждение Р-Р осуществляли со скоростью 0,1–1,0 °С/мин. Содержание ивовалентной примеси олова по данным нейтронно-активационного анализа во всех исследованных образцах, полученных ЖФЭ, было $(3-6) \cdot 10^{19}$ см⁻³, что близко к пределу растворимости Sn при температуре роста эпитаксиальных слоев. Часть образцов получали из Р-Р, содержащих редкоземельный элемент иттербий Yb. Удельное электрическое сопротивление ρ измерялось 4-зондовым методом. Толщина пленок определялась с помощью декорирования купоросным раствором сферического шар-шлифа. Плотность дислокаций контролировалась травлением в селективном травителе Райта. Измерения микротвердости (Н) проводились по стандартной методике на приборе ПМТ-3 в результате 40–50 испытаний с применением статистического метода обработки данных. Микрочрупкость оценивалась по наличию трещин и сколов у отпечатков по стандартной 5-балльной методике.

Микротвердость подложек и ЭС во всех исследованных образцах была выше, чем Н исходных (до эпитаксии) пластин. Указанное обстоятельство связано с упрочняющим действием термообработки. Установлено, что прочностные характеристики эпитаксиальных слоев существенно зависят от метода получения (газофазная или жидкофазная эпитаксия) и определяются их дефектно-примесным составом. Физико-механические свойства эпитаксиальных структур, полученных ГФЭ, существенно зависели от атмосферы выращивания. Наблюдалось нормальное гауссово распределение величин микротвердости эпитаксиальных слоев, что свидетельствует об отсутствии крупных (свыше 5 мкм) включений второй фазы. Показано, что технологические примеси внедрения и дислокации упрочняют эпитаксиальные структуры. Для ЭС, выращенных методом ЖФЭ, наблюдалась сильная зависимость физико-механических свойств от ориентации подложки. Кроме того, в указанных ЭС наблюдался эффект разупрочнения, обусловленный увеличением параметра решетки вследствие легирования примесью Sn, имеющей больший, чем у Si, ковалентный радиус, что приводит к увеличению длины связи.

Добавление в раствор-расплав примеси Yb снижает микротвердость выращиваемых эпитаксиальных пленок и приводит к существенному увеличению дисперсии случайного распределения измеренных величин микротвердости ΔH , что свидетельствует о наличии включений второй фазы. Экспериментальные данные могут быть объяснены с учетом геттерирующего эффекта редкоземельного элемента в растворе-расплаве по отношению к технологическим примесям (кислород, углерод, переходные металлы и т.д.).