

МОЛЕКУЛЯРНО-ЛУЧЕВАЯ ЭПИТАКСИЯ (Molecular Beam Epitaxy)

*«Кисть, рука и палитра нужны, чтобы рисовать,
но картина создается вовсе не ими»*

Жан Шарден



Том Сойер создает простейшую многослойную структуру – красит забор (иллюстрация к книге «Приключения Тома Сойера»)

Жизнь современного человека трудно себе представить без микроэлектронной техники. В основе большинства микросхем, светоизлучающих диодов и других полупроводниковых систем лежат многослойные структуры из различных полупроводниковых материалов. Вынесенное в эпиграф изречение о живописи может быть в полной мере отнесено и к современной микроэлектронике: будучи очень важной, зада-

ча создания многослойных структур является одновременно и очень сложной: недостаточно уметь формировать «дорожки» металлов или полупроводников – необходимо еще и разработать дизайн всей схемы в целом. При этом элементы микроэлектроники, например, излучающий элемент даже самой обыкновенной лазерной указки, включают до 5–7 полупроводниковых слоев, а их толщина не превышает доли микрометра, что на два-три порядка меньше толщины человеческого волоса.

Самым передовым методом получения многослойных полупроводниковых систем, *гетероструктур* и *тонких пленок* с контролем толщины на атомном уровне является метод *молекулярно-лучевой эпитаксии* (МЛЭ). По сути МЛЭ представляет собой результат фантастического усовершенствования достаточно старого способа нанесения пленок путем испарения вещества в вакууме. В методе МЛЭ тонкие (толщиной от нескольких нанометров) упорядоченные слои формируются на нагретой монокристаллической подложке в сверхвысоком вакууме (до 10^{-12} атм) (рис. 1). Высокая температура способствует быстрой миграции атомов по поверхности, в результате чего атомы занимают строго определенные положения, ориентированные относительно подложки – происходит эпитаксиальный рост кристаллической пленки.

Основным блоком системы МЛЭ является ростовая камера, в которой испарение материалов осуществляется из эффузионных ячеек – нагреваемых до высокой температуры полых цилиндров с крошечным отверстием в крышке (эффузия – медленное истечение газов через малые отверстия). В одной ростовой камере может

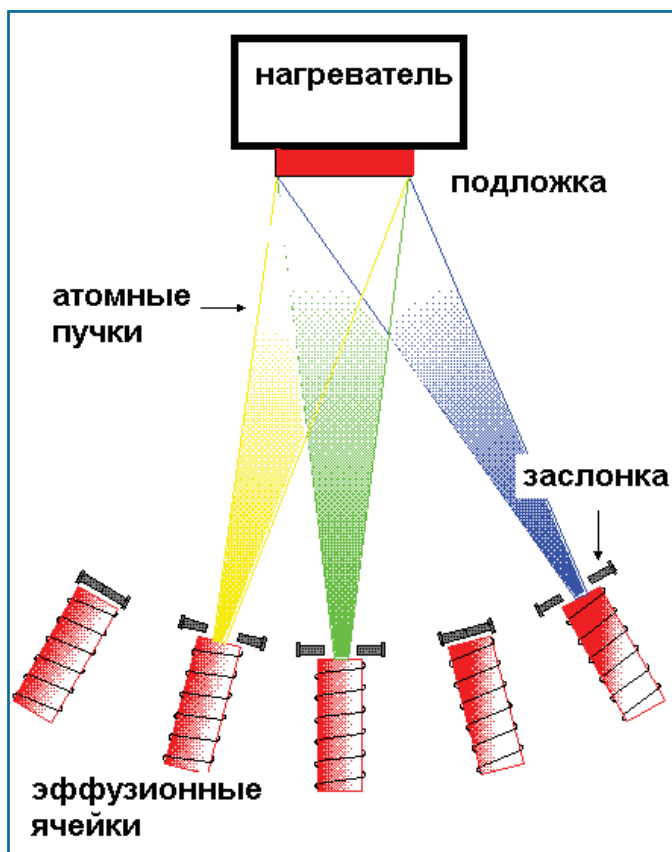


Рис. 1. Упрощенная схема ростовой камеры в системе МЛЭ

располагаться несколько испарителей, каждый из которых предназначен для нанесения одного вещества. Испаряемый материал осаждается на подложку, закрепленную на манипуляторе с нагревательным устройством. Помимо испарителей, в ростовой камере находятся системы анализа растущей пленки, например, масс-спектрометр для анализа состава остаточной атмосферы в камере или дифрактометр отраженных электро-

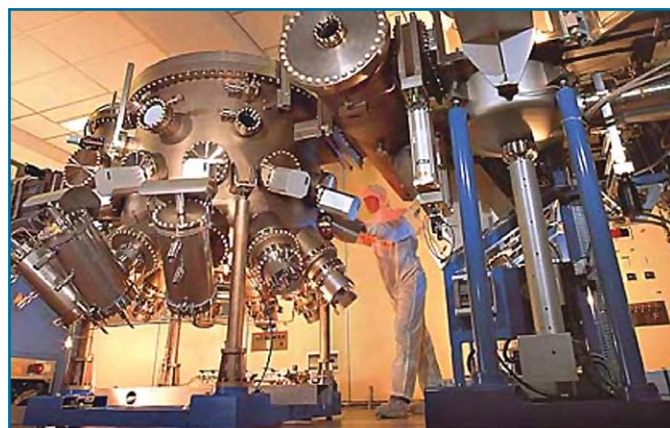


Рис. 2. Комплекс для молекулярно-лучевой эпитаксии фирмы RIBER

нов, контролирующей структуру формируемых пленок.

В настоящее время большинство установок для МЛЭ состоят из автоматизированных модулей (рис. 2), которые подразделяются на технологические и вспомогательные. Технологические модули предназначены для проведения определенного технологического процесса – очистки подложек, осаждения пленок, анализа формируемых структур и т.д.). Вспомогательными являются, например, модуль загрузки–выгрузки, модуль предварительной откачки и обезгаживания вакуумных камер и др. Входящие в состав комплекса МЛЭ модули соединяются между собой шлюзовыми устройствами и системой перемещения подложек и образцов из одного модуля в другой без нарушения вакуума.

Большие размеры, сложность конструкции, высокая стоимость (до десятков миллионов долларов) делает комплексы молекулярно-лучевой эпитаксии «пирамидами» века нанотехнологий.

Литература:

1. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / Ред. Л. Ченг, К. Плог. М.: Мир, 1989. 580 с.