

# Легирование полупроводников

Выполнил Оганесян Ашот

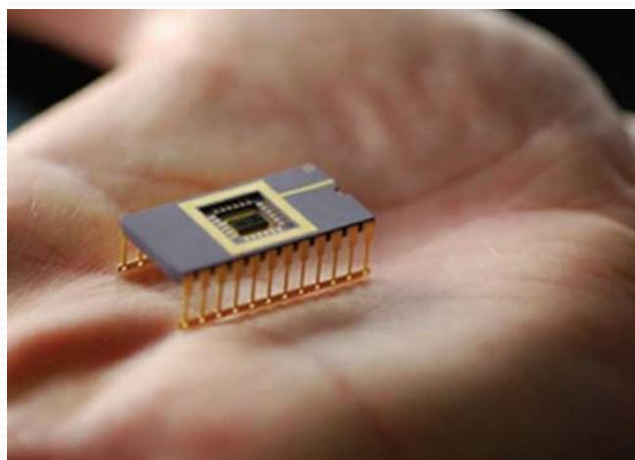
МНТ-09

# Легирование

ЛЕГИРОВАНИЕ (нем. legieren — сплавлять, от лат. ligo — связываю, соединяю), введение в состав твердых веществ (металлов, сплавов, полупроводников и диэлектриков) легирующих элементов для придания им определенных физических, химических или механических свойств.

● Введение легирующей примесей может существенным образом изменить свойства твердых тел. От характера взаимодействия атомов легирующих элементов и атомов основного вещества, от типа образованных дефектов структуры, от характера взаимодействия легирующих и фоновых примесей, легирующих примесей и дефектов структуры, от способности легирующей примеси образовывать соединения в матрице вещества и т.д. зависят свойства (электрические, магнитные, тепловые) легируемого вещества.

- Легирование широко применяется в технологии получения металлов и сплавов, полупроводниковых кристаллов и пленок, а также диэлектрических материалов с заданными свойствами



# Легирование полупроводников

Под легированием полупроводников подразумевается не только дозированное введение в полупроводники примесей, но и структурных дефектов с целью изменения их свойств, главным образом электрофизических. Наиболее распространенным методом легирования является легирование различными примесями.

# Электрически активные примеси

Для получения кристаллов n- и p- типа проводимости кристаллы легируют электрически активными примесями (чаще всего – водородоподобными, валентность которых отличается от валентности основных замещаемых атомов на единицу). Электрически активные водородоподобные примеси являются примесями замещения. Например, для элементарных полупроводниковых материалов германия или кремния такими легирующими примесями являются атомы элементов III или V групп таблицы Менделеева. Примеси такого типа создают мелкие (вблизи дна зоны проводимости или вблизи потолка валентной зоны) энергетические уровни: соответственно, примеси III группы (B, Al, In, Ga) будут акцепторами, а примеси V группы (P, Sb, As) — донорами. У полупроводниковых соединений  $A^{III}B^V$  элементы V группы замещаются примесями VI группы (S, Se, Te), которые являются донорами, а элементы II группы (Zn, Cd), замещая, соответственно, атомы III группы в соединении, будут проявлять акцепторные свойства. Такое легирование позволяет управлять типом проводимости и концентрацией носителей заряда в полупроводнике.

Некоторые примеси, введенные в кристалл, способны проявлять как донорные, так и акцепторные свойства. Если проявление донорных или акцепторных свойств таких примесей зависит от их размещения в кристаллической матрице, например, от того, находится ли атом легирующей примеси в узле кристаллической решетки или в междоузлии, примеси называются амфотерными. Некоторые примеси, размещаясь в узлах решетки, являются акцепторами, а в междоузлии — донорами. А в случае легирования соединений  $A^{III}B^V$  примесями IV группы, проявление донорных или акцепторных свойств будет зависеть от того, в узлах какой подрешетки расположен атом примеси. При замещении таким атомом катионного узла он будет проявлять донорные свойства, а при замещении анионного узла — акцепторные.



# Изовалентные примеси

В некоторых случаях используют легирование изовалентными примесями, т.е. примесями, принадлежащими той же группе Периодической системы, что и замещаемые им атомы. Такое легирование используется для формирования свойств косвенным путем. Например, легирование кристаллов GaAs изовалентной примесью In способствует проявлению эффекта примесного упрочнения (снижения плотности дислокаций) и формированию в кристалле полуизолирующих свойств.



# Варианты

- Иногда для легирования используют примеси, образующие глубокие уровни в запрещенной зоне, что позволяет воздействовать на диффузионную длину носителей заряда и регулировать степень компенсации электрически активных центров.
- Путем введения тех или иных легирующих добавок можно эффективно влиять на состояние ансамбля собственных точечных дефектов в кристалле, в особенности на поведение в них дислокаций и фоновых примесей и таким образом управлять свойствами полупроводникового материала.

# Способ легирования

- Легирование полупроводников обычно осуществляется непосредственно в процессе выращивания монокристаллов и эпитаксиальных структур. Легирующая примесь в элементарной форме или в виде соединения вводится в расплав, раствор или газовую фазу. В связи с особенностями процессов на фронте кристаллизации при выращивании кристаллов и пленок, примесь распределяется неравномерно как по длине, так и в объеме кристалла. Чтобы добиться равномерного распределения, используются различные технологические приемы.

# Радиационное легирование

- Еще одним способом легирования полупроводников является радиационное легирование. В этом случае доноры и акцепторы не вводятся в кристалл, а возникают в его объеме в результате ядерных реакций при его облучении. Наибольший практический интерес представляют реакции, возникающие в результате облучения тепловыми нейтронами, которые обладают большой проникающей способностью. При таком способе легирования распределение электрически активных примесей более равномерно. Но в процессе облучения в кристалле образуются радиационные дефекты, снижающие качество материала.

# Диффузионный метод

- Для создания р-п-переходов может использоваться диффузионный метод введения легирующей примеси. В этом случае примесь в объем вводят либо из газовой фазы, либо из специально нанесенного покрытия, которым может служить, например, в случае кремния, оксидная пленка. Для получения тонких легированных слоев широко используется метод ионной имплантации, позволяющей вводить практически любую примесь и управлять ее концентрацией и профилем ее распределения.