

УДК 621.315.592

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР *n*-InSb-SiO<sub>2</sub>-*p*-Si ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

© Ю.А. Никольский, Л.А. Плешакова

Предложен новый метод получения тонких полупроводниковых слоев *n*-InSb, позволяющий значительно приблизить слои по параметрам и свойствам к исходному монокристаллу антимонида индия *n*-типа проводимости. Полагаем, что предложенный метод найдет успешное применение в технологии получения тонких полупроводниковых слоев.

Одной из главных задач полупроводникового материаловедения является разработка технологии приготовления тонкопленочных структур для создания принципиально новых полупроводниковых приборов, обладающих характеристиками и свойствами, которые будут многократно превосходить характеристики и свойства уже имеющихся современных полупроводниковых приборов. Так, создание монокристаллических гетероструктур в значительной степени расширит сферу их использования, особенно если эти структуры будут тонкопленочными. Миниатюризация электронной аппаратуры, основанная на создании микроэлектронных систем полупроводниковых структур, значительно разнообразит спектр практического применения полупроводниковых приборов, так необходимых для народного хозяйства и оборонной сферы нашего государства.

Тонкопленочные структуры *n*-InSb-SiO<sub>2</sub>-*p*-Si, как известно, очень интересны с точки зрения физических исследований, поскольку и антимонид индия, и кремний являются самыми распространенными полупроводниковыми материалами, и созданная на их основе тонкопленочная гетероструктура позволяет быть основой для создания приборов, работающих в широком диапазоне ИК области спектра от 1,5 до 10 мкм, в широком интервале температур 77÷400 К, относительных деформаций 10<sup>-2</sup>÷10<sup>-6</sup> и т. д.

Важным направлением современных исследований практического применения вышеуказанной гетероструктуры является наличие оптической памяти, которая, как известно, составляет в этой структуре ~ 40 %. Это позволяет использовать данную структуру в качестве устройств хранения информации в широкой области температур, оптического спектра, механических деформаций и других внешних факторов, которые практически мало влияют на эффект оптической памяти в этой гетероструктуре.

Исследуемая тонкопленочная структура *n*-InSb-SiO<sub>2</sub>-*p*-Si является весьма перспективной для создания термоэлектрических, магнитоэлектрических, фотоэлектрических, оптоэлектронных и других преобразователей, широко используемых в различных областях отечест-

венного приборостроения и проводимых экспериментальных физических исследованиях.

Нами предложен новый метод получения тонких полупроводниковых слоев *n*-InSb, который позволяет значительно приблизить слои по параметрам и свойствам к исходному монокристаллу антимонида индия *n*-типа проводимости.

Ранее тонкие пленки антимонида индия *n*-типа проводимости получались различными методами на диэлектрических подложках из слюды, кварца, сапфира, окисленного кремния, а также на различные кристаллографические плоскости, полученные сколом монокристаллов полупроводниковых материалов Ge, Si, а также полупроводников A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> и A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> – таких, как ZnTe, CdTe, ZnSe, InSb, GaAs, InAs и целый ряд других двух-, трех и многокомпонентных полупроводников.

Сущность нового метода состоит в том, что он принципиально отличается от всех известных методов, и при его усовершенствовании можно будет практически эффективно решать все технологические приемы приготовления тонкопленочных полупроводниковых материалов. Нужно взять кусочек монокристалла полупроводникового материала *n*-InSb объемом ~ 8 мм<sup>3</sup> = 2×2×2 мм, что легко сделать, отколов его от монокристаллического блока, и конечно же не строго указанного размера. Затем положить его на подложку из материала, на котором надо получить этот слой (например, слюда, кварц, сапфир, окись кремния и т. д.), и нагреть эту подложку до температуры плавления данного материала в вакууме ~ 10<sup>4</sup> мм рт. ст. Простые расчеты показывают, чтобы из этого кубика получить тонкую пленку толщиной 20÷30 мкм, площадь слоя должна быть ~ 400 мм<sup>2</sup>, т. е. 20×20 мм или ~ 300 мм<sup>2</sup>, т. е. 17,5×17,5 мм. Характерно, что слои такой толщины уже имеют физические свойства, приближающиеся к свойствам массивных материалов, т. к. влияние толщины слоя, т. е. размерный эффект, уже не сказывается на электрофизических свойствах слоев для пленок антимонида индия *n*-типа проводимости. Экспериментальные исследования процесса нагревания подложки предусматривают два типа нагрева: графитовая печь, в которую вмонтированы кварцевые трубочки с нихромовой спи-

ралью, и простой нагреватель из вольфрамовой пластинки, который обладает значительно меньшей инерционностью, что позволяет быстро изменять температуру процесса нагревания и естественно легче управлять процессом плавления и кристаллизации слоя.

В нашем эксперименте температура печи была порядка 550 °С, при которой кристаллик *n*-InSb расплавился на слюде. Под действием силы тяжести плоскопараллельного груза, подвешенного над этой печкой, капля растекалась равномерно на подложке, образуя слой антимонида индия *n*-типа проводимости толщиной ~ 20÷30 мкм. Действие этого груза на каплю совершается в течение 5 с, после чего печь выключается, и слой кристаллизуется на подложке. Конечно, в результате плавления кристаллическая структура бинарного соединения *n*-InSb разрушается, но в новом агрегатном состоянии она находится мало времени (несколько секунд), и появление каких-либо примесей и значительных отклонений от исходной кристаллической структуры в процессе кристаллизации слоя под действием силы тяжести при понижении температуры маловероятно.

Наличие ковалентной химической связи в соединениях  $A^{III}B^V$ , обладающей свойством направленности, приводит к наложению некоторых ограничений на взаимное расположение атомов, что вроде бы препятствует их диффузии. Так как диффузия затруднена, то в процессе кристаллизации происходит нарушение равновесия. Однако в соединениях с ковалентной связью коэффициент диффузии экспоненциально растет с температурой, вследствие чего состояние равновесия может быть достигнуто довольно быстро.

Форма образца на подложке после растекания капли под действием силы тяжести после кристаллизации слоя может быть произвольной. Измерение электрофизических параметров и свойств полученного слоя можно проводить, вырезав из него прямоугольный участок обычным методом, или же по методу Ван-дер-Пау [1]. Проведенная оценка электрофизических параметров полученной таким способом тонкой пленки *n*-InSb на слюдяной подложке при комнатной температуре показала, что электропроводность близка к значению исходного монокристалла и составляет ~  $10^3 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$ , а концентрация носителей заряда равна  $10^{15} \div 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Характерно, что эти данные близки к параметрам исходного монокристалла.

Приведенная методика позволяет получать и гетероструктуры, если полупроводниковая подложка на кремниевой основе. Так, для получения гетероструктуры *n*-InSb-SiO<sub>2</sub>-*p*-Si указанным методом можно значительно изменить ее параметры, поскольку в настоящее время известно, что слои *n*-InSb, полученные вышеуказанными методами на подложках SiO<sub>2</sub>-*p*-Si, имеют концентрацию носителей заряда при комнатной температуре в диапазоне  $(0,5 \div 1,0) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  и проводимость ~  $10^2 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  [2]. Характерно, что нагрев подложки SiO<sub>2</sub>-*p*-Si в вакууме ~  $10^{-4}$  мм рт. ст. до температуры ~ 550 °С не вызовет каких-либо изменений ее электрических свойств, а полученная гетероструктура с выше-

указанным слоем *n*-InSb будет обладать большей интегральной чувствительностью в ИК области спектра.

К перечисленным преимуществам новой технологии приготовления полупроводниковых слоев *n*-InSb и гетероструктур *n*-InSb-SiO<sub>2</sub>-*p*-Si можно отнести сокращение времени осуществления технологического процесса, значительную экономию исходного кристалла. Так, например, при дискретном методе приготовления исходный кристалл дробится на частицы ≤ 150 мкм, а остаток в объеме 30–40 % материала не используется в данном процессе. Кроме того, при испарении на подложку при дискретном методе в лучшем случае попадает 50 % исходного материала. Таким образом, получаются значительно меньшие материальные затраты в связи с экономией исходного материала и уменьшением времени процесса получения слоя.

В процессе перекристаллизации слоя, полученного дискретным испарением, окисный слой оказывает влияние на электрофизические параметры слоя и, в первую очередь, на его чистоту. Все известные другие методы получения тонких пленок антимонида индия *n*-типа проводимости и сплавов на его основе в той или иной мере снижают электрофизические параметры слоев по сравнению с монокристаллами этих материалов, если не учитывать размерный эффект.

Конечно, дальнейшие исследования пленок *n*-InSb, полученных указанным методом, предполагают тщательное исследование их структуры электронографическими, рентгеноструктурными, металлографическими и другими методами с целью дальнейшего выяснения влияния структурных особенностей полученных пленок на их электрофизические, гальваномагнитные, оптические, фотоэлектрические и другие свойства. Надо сказать, что предложенный метод в большей степени применим для материалов, температура плавления которых менее 600 °С. При более высоких температурах определенное влияние на формирующийся слой может оказывать поверхность груза, действующего на слой, а также время его действия. Тем не менее, полагаем, что предложенный метод найдет успешное применение в технологии получения тонких полупроводниковых слоев.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Van L.J. der Pauw, Philips // Res.Rep. 1958. V. 13, № 1.
2. Никольский Ю.А. Кинетические явления в тонкопленочных структурах *n*-InSb, In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>Sb и *n*-InSb-SiO<sub>2</sub>-*p*-Si и приборы на их основе. Борисоглебск, 2001. Деп. ВИНТИ 22.06.2001 г. № 1476-B2001.

Поступила в редакцию 10 апреля 2008 г.

Nikolsky Yu.A., Pleshakova L.A. Development of the technology of receiving thin-film structures *n*-InSb-SiO<sub>2</sub>-*p*-Si for the formation of the effective semiconducting devices. A new method of receiving thin-film layers *n*-InSb is proposed, which allows significantly approximating the layers by parameters and properties to the original monocrystal of indium antimonide having *n*-type conductivity. The author supposes the method proposed will be taken up in the technology of receiving thin semiconducting layers.