

КИНЕТИКА ПАССИВАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ GaAs (100) В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ СУЛЬФИДА НАТРИЯ

© В.Н.Бессолов, А.Ф.Иванков, Е.В.Коненкова,
М.В.Лебедев, В.С.Стрыканов

Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе Российской академии наук,
194021, Санкт-Петербург, Россия
(Получена 22 февраля 1995 г. Принята к печати 28 февраля 1995 г.)

Изучалось изменение интенсивности фотолюминесценции GaAs (100) после пассивации поверхности в водных растворах сульфида натрия в зависимости от времени обработки, температуры и состава сульфидного раствора. Показано, что с увеличением времени обработки в сульфидном растворе интенсивность максимума фотолюминесценции сначала возрастает, а затем выходит на насыщение, причем время выхода на насыщение зависит от щелочности раствора и от концентрации в нем сульфид-ионов. При фиксированном времени обработки интенсивность максимума фотолюминесценции возрастает с увеличением температуры сульфидирования. Данные рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии сульфидированных поверхностей, во-первых, показывают наличие связей Ga-S и, во-вторых, указывают на уменьшение содержания окислов мышьяка на поверхности полупроводника с увеличением температуры сульфидирования. Возрастающие интенсивности фотолюминесценции при сульфидной пассивации связывается главным образом с уменьшением содержания этих окислов.

1. Введение

В последние годы в современной полупроводниковой технологии на первый план выдвинулась задача управления электронными свойствами поверхности полупроводников $A^{III}B^V$. Крайне высокая плотность поверхностных состояний приводит в полупроводниках $A^{III}B^V$ к пиннингу уровня Ферми на поверхности вблизи середины запрещенной зоны, что в свою очередь приводит к высокой скорости поверхностной рекомбинации и не позволяет в полной мере раскрыть потенциальные возможности этих полупроводников.

Одним из перспективных методов изменения спектра поверхностных состояний и снижения скорости поверхностной рекомбинации в полупроводниках $A^{III}B^V$ является сульфидная пассивация [1]. Этот метод, заключающийся в обработке поверхности в сульфидсодержащих растворах [1-3] или газах [4-6], уже доказал существование возможности кардинально улучшить работу многих полупроводниковых приборов, в частности биполярных и полевых транзисторов [1,3], а также

лазеров [7-10]. Изменение электронных свойств (в частности, уменьшение скорости поверхностной рекомбинации), а также пассивация поверхности при сульфидировании наблюдались для всех бинарных полупроводников $A^{III}B^V$ [3,11,12] и многих твердых растворов [1,7-14].

Причины, приводящие к резкому изменению электронных свойств при сульфидировании поверхности полупроводников $A^{III}B^V$, кроются в изменении ее атомной структуры в результате химического взаимодействия с сульфид-ионами.

Исследования методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии показали [15-22], что в результате сульфидной обработки происходит практически полное удаление окислов с поверхности полупроводника и образование химических связей атомов S с поверхностными атомами III или V групп; наличием этих связей и обусловлено изменение электронных свойств поверхности. Так, например, при сульфидировании поверхности GaAs (100) наблюдались как связи As-S [15,16], так и связи Ga-S [17,18], причем одни и те же связи могли характеризоваться разными химическими сдвигами энергии связи электронов. В то же время в работе [19] не обнаружено ни связей As-S, ни связей Ga-S, хотя пассивирующий эффект наблюдался. Обработка поверхности в растворах различных сульфидов приводит к возникновению различных связей на сульфидированной поверхности [20,21]. С другой стороны, пропускание через полупроводник в процессе сульфидной обработки электрического тока приводит к образованию связей As-S с более сильным химическим сдвигом [22].

Исследование химической кинетики процесса позволило бы пролить свет на механизмы химических реакций, идущих в процессе сульфидирования полупроводников, а следовательно, и на механизм изменения электронных свойств поверхности при пассивации. В работе [23] исследовалась кинетика движения поверхностного уровня Ферми GaAs в зависимости от типа проводимости и уровня легирования полупроводника при сульфидной обработке. В работе [24] была предложена модель фотоэлектрохимической реакции, ведущей к формированию сульфидного пассивирующего покрытия на поверхности полупроводников $A^{III}B^V$.

Данная работа посвящена экспериментальному подтверждению модели [24]. Для этого изучалась кинетика пассивации поверхности GaAs (100) в водных растворах сульфида натрия. Так как сульфидная обработка приводит к резкому изменению фотолюминесцентных свойств полупроводника [2], интенсивность фотолюминесценции GaAs служила мерой эффективности пассивации поверхности.

2. Методика эксперимента

Исследуемые структуры представляли собой слой *n*-GaAs (с концентрацией электронов $n = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$), толщиной 10 мкм, выращенный методом газофазной эпитаксии из металлорганических соединений на полуизолирующей подложке GaAs (100).

Сульфидная обработка проводилась при различных температурах (температура менялась в диапазоне $0 \div 100^\circ\text{C}$). Сульфидирование проводилось при освещении лампой накаливания мощностью 200 Вт путем погружения структуры в раствор сульфида натрия ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) в воде. Использовались растворы с различной концентрацией сульфид-ионов (приготавливались путем разбавления водой насыщенного при комнатной температуре раствора, при этом менялась и величина pH) и с различной щелочностью (приготавливались путем добавления к насыщенному при комнатной температуре раствору соляной кислоты). Время сульфидирования было различным и изменялось от 1 с до 2 сут. После сульфидирования структура многократно промывалась деионизованной водой, а затем высушивалась на воздухе.

Измерялись интенсивность фотолюминесценции в максимуме излучения GaAs при комнатной температуре ($h\nu = 1.412\text{эВ}$) и работа выхода электронов с поверхности полупроводника. Фотолюминесценция возбуждалась Хе-лазером (плотность мощности возбуждения $I = 3.0\text{кВт/см}^2$). Методика измерения работы выхода описана в [25].

Химический состав поверхности GaAs изучали методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Фотоэлектронные спектры снимались на спектрометре Perkin-Elmer РН1 5400 с использованием рентгеновского излучения MgK_α ($h\nu = 1253.6\text{эВ}$) мощностью 300 Вт. Рентгеновские спектры получены при двух углах отбора фотоэлектронов — 45 и 5° . Структуры помещались в вакуумную камеру не позже, чем через 10 мин после окончания процесса сульфидирования. Полученные спектры анализировались и раскладывались на составляющие с помощью стандартного программного обеспечения фирмы Perkin-Elmer. Идентификация химических связей, соответствующих различным составляющим спектров, проводилась согласно [26].

3. Экспериментальные результаты

3.1. Фотолюминесцентные исследования. Интенсивность максимума фотолюминесценции GaAs I_{PL} с увеличением времени сульфидной обработки сначала возрастает (от начальной интенсивности излучения несульфидированного GaAs, равной условно $0.1 \div 0.15$), а затем выходит на насыщение (достигает стационарного значения около $23 \div 25$) (рис. 1). Время выхода на насыщение уменьшается при уменьшении щелочности раствора, при этом стационарная интенсивность люминесценции остается практически неизменной (рис. 1, *b*). Так, например, при сульфидировании в насыщенном при комнатной температуре растворе ($\text{pH} \approx 14$) I_{PL} достигает своего стационарного значения примерно за 3ч (рис. 1, *a*), в то время как в более кислом растворе ($\text{pH} \approx 12$) время выхода на насыщение составляет уже около 20 мин (рис. 1, *b*). Стационарная интенсивность фотолюминесценции оказывается несколько ниже (около $17 \div 20$) при уменьшении концентрации сульфид-ионов в растворе, хотя время выхода на насыщение (около 1ч) несколько меньше, чем при обработке в насыщенном растворе (рис. 1, *c*). Следует отметить, что на величину стационарного значения интенсивности не оказывает влияния предварительная обработка GaAs в серноокислотно-перекисном растворе ($\text{H}_2\text{SO}_4 : 8\text{H}_2\text{O}_2 : 500\text{H}_2\text{O}$).

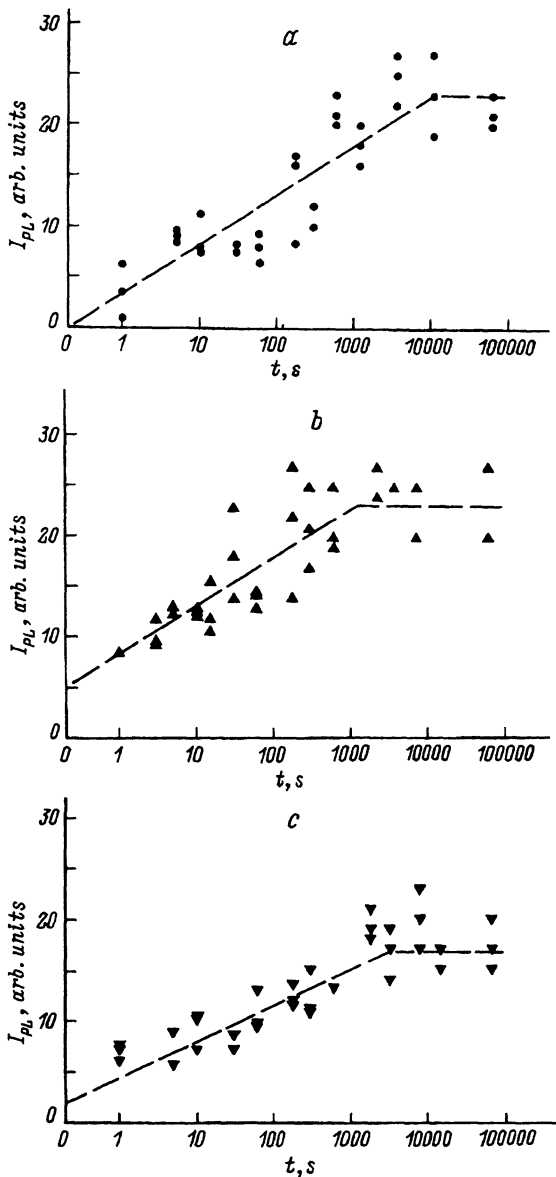


Рис. 1. Интенсивность максимума фотолюминесценции I_{PL} GaAs(100) ($n = 2 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$) в зависимости от времени обработки t при комнатной температуре в водных растворах сульфида натрия ($\text{Na}_2\text{S} : 9 \text{ H}_2\text{O}$) различного состава: *a* — насыщенный, *b* — разбавленный в 100 раз по отношению к насыщенному; *c* — с уменьшенной щелочностью по отношению к насыщенному.

Работа выхода электронов с поверхности полупроводника меняется в процессе сульфидирования практически мгновенно (за время, меньшее 1 с) с 4.65 до 4.75 ± 0.05 эВ (при сульфидировании в насыщенном растворе), после чего остается постоянной при любом времени обработки.

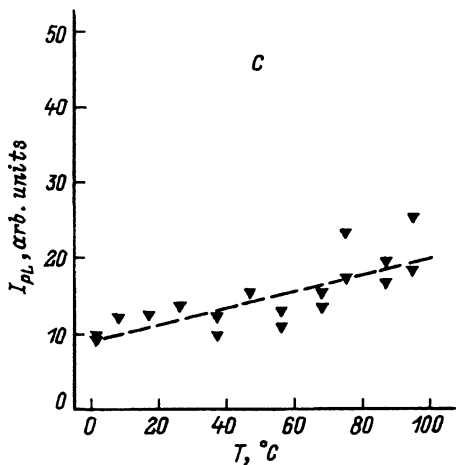
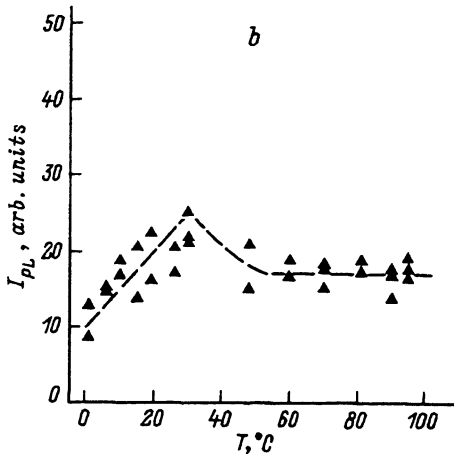
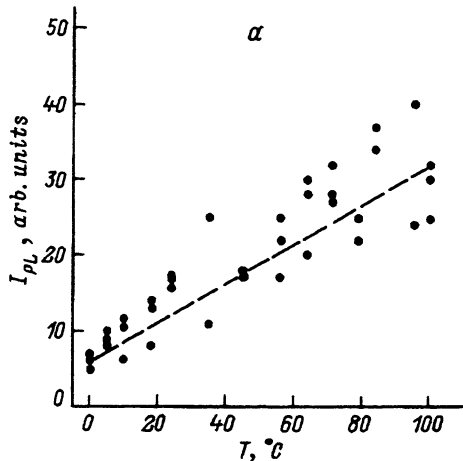


Рис. 2. Интенсивность максимума фотолюминесценции I_{PL} GaAs(100) ($n = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$) в зависимости от температуры обработки T при времени обработки 1 мин в водных растворах сульфида натрия ($\text{Na}_2\text{S} : 9 \text{ H}_2\text{O}$) различного состава: *a* — насыщенный, *b* — разбавленный в 100 раз по отношению к насыщенному, *c* — с уменьшенной щелочностью по отношению к насыщенному.

Интенсивность фотолюминесценции сульфидированного GaAs возрастает с увеличением температуры сульфидного раствора при фиксированном времени обработки (1 мин) (рис. 2). Эта зависимость становится менее резкой при уменьшении концентрации сульфид-ионов в растворе в 100 раз (наклон уменьшается в 2.5 раза — см. рис. 2, *c*). В менее щелочном растворе интенсивность сначала резко (примерно в 2.5 раза) возрастает в диапазоне температур от 0 до 30 °C, после чего, при дальнейшем повышении температуры, проходит через максимум и затем уже от нее не зависит (рис. 2, *b*).

3.2. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Методом РФЭС исследовались три типа структур: *A* — структуры, обработанные при комнатной температуре в растворе $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$ (1 : 8 : 500) в течение 1 мин, после чего промытые в деионизованной воде; *B* — структуры *A*, дополнительно обработанные в насыщенном водном растворе $\text{Na}_2\text{S} : 9 \text{ H}_2\text{O}$ при комнатной температуре в течение 5 мин; *C* — структуры *A*, дополнительно обработанные в насыщенном водном растворе $\text{Na}_2\text{S} : 9 \text{ H}_2\text{O}$ при 100 °C в течение 5 мин.

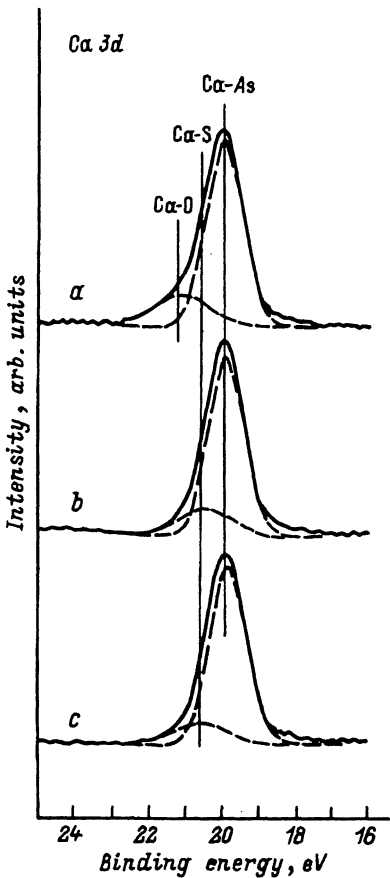


Рис. 3. Фотоэлектронные спектры Ga 3d при угле отбора фотоэлектронов 45° трех различных поверхностей GaAs (100), предварительно травленных в H₂SO₄ : H₂O₂ : H₂O (1 : 8 : 500) в течение 1 мин и промытых в деионизованной воде. а — несulfидированная поверхность, б — sulfидированная в насыщенном водном растворе Na₂S : 9H₂O при комнатной температуре в течение 5 мин, с — sulfидированная в насыщенном водном растворе Na₂S : 9H₂O при 100 °С в течение 5 мин.

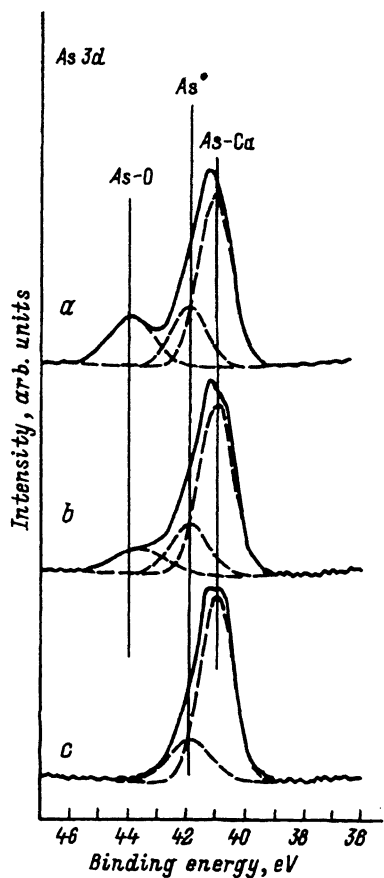


Рис. 4. Фотоэлектронные спектры As 3d при угле отбора фотоэлектронов 45° трех различных поверхностей GaAs (100), предварительно травленных в H₂SO₄ : H₂O₂ : H₂O (1 : 8 : 500) в течение 1 мин и промытых в деионизованной воде. а — несulfидированная поверхность, б — sulfидированная в насыщенном водном растворе Na₂S : 9H₂O при комнатной температуре в течение 5 мин, с — sulfидированная в насыщенном водном растворе Na₂S : 9H₂O при 100 °С в течение 5 мин.

Рентгеновские фотоэлектронные спектры структур всех трех типов, в независимости от угла отбора фотоэлектронов, содержат пики Ga, As, С и О, а спектры sulfидированных структур еще и пик S. На рис. 3 и 4 приведены спектры линий Ga 3d и As 3d, снятые при угле отбора 45°.

Разложение пика Ga 3d у трех типов структур показало следующее (рис. 3). В спектре несulfидированной структуры помимо составляющей, соответствующей галлию в GaAs (с энергией связи электронов 19.9 эВ), содержится составляющая, обусловленная окислами

Ga (с энергией связи 21.0 эВ) (рис. 3,а). В сульфидированных структурах составляющая с энергией 21.0 эВ отсутствует, но появляется новая — с энергией связи 20.55 эВ (химический сдвиг ≈ 0.65 эВ), которая, по-видимому, обусловлена образованием связей галлия с серой (рис. 3,б,с). Интенсивности пиков, соответствующих связям Ga-S, практически одинаковы в структурах, сульфидированных при различных температурах, т.е. сульфидирование GaAs приводит к полному удалению окислов галлия с поверхности полупроводника, а количество образующихся при этом связей Ga-S на поверхности GaAs практически не зависит от температуры раствора.

Разложение пиков As 3d показало следующее (рис. 4). В несульфидированной структуре наряду с составляющей, связанной с мышьяком в GaAs (с энергией связи электронов 40.9 эВ), присутствует пик, связанный с элементарным мышьяком As⁰ (около 41.9 эВ), и пик, связанный с окислом мышьяка As₂O₃ (энергия связи электронов 44.0 эВ, химический сдвиг 3.1 эВ) (рис. 4,а). В структуре, сульфидированной при комнатной температуре, интенсивность пика, соответствующего As₂O₃, примерно в 2 раза меньше, чем в несульфидированной структуре (рис. 4,б). В структуре, сульфидированной при 100 °С, пик, связанный с окислом, не регистрируется совсем (по крайней мере в пределах точности аппаратуры) (рис. 4,с). Количество элементарного мышьяка во всех трех структурах практически неизменно. Таким образом, сульфидирование GaAs приводит к удалению окисла мышьяка с поверхности полупроводника, причем это удаление тем более полное, чем выше температура раствора при сульфидировании (при фиксированном времени обработки). В процессе сульфидирования количество элементарного мышьяка на поверхности GaAs практически не изменяется.

Спектры, снятые при углах отбора фотоэлектронов $\sim 5^\circ$, показали, что элементарный мышьяк и сульфиды сконцентрированы в приповерхностной области полупроводника толщиной $\sim 10 \text{ \AA}$ (концентрация элементарного мышьяка и серы возрастает в 2 раза по сравнению со спектрами, снятыми при угле отбора 45°).

4. Обсуждение результатов

Фотолюминесцентные исследования кинетики процесса сульфидирования подтверждают электрохимическую модель формирования сульфидного пассивирующего покрытия на поверхности полупроводника [24,27]. Согласно этой модели, формирование сульфидного покрытия происходит в результате электрохимической реакции, в ходе которой полупроводник окисляется. Скорость образования пассивирующего покрытия определяется как скоростью выхода электронов из полупроводника в раствор при окислении полупроводника, так и скоростью разрыва приповерхностных химических связей полупроводника, а также скоростью образования связей серы с поверхностными атомами полупроводника. Скорость выхода электронов из полупроводника в раствор при сульфидировании должна, в частности, возрастать при увеличении концентрации и температуры, а также при уменьшении щелочности сульфидного раствора.

Возрастание интенсивности фотолюминесценции полупроводника в ходе сульфидной обработки является следствием значительной перестройки спектра поверхностных состояний. Поэтому кинетика

возрастания фотолюминесценции в процессе сульфидирования, по-видимому, отражает кинетику перестройки спектра поверхностных состояний, а, следовательно, в какой-то мере, и кинетику электрохимической реакции сульфидирования поверхности полупроводника.

При уменьшении щелочности раствора (величины pH) скорость возрастания фотолюминесценции в процессе сульфидирования увеличивается (рис. 1), что по-видимому, свидетельствует об увеличении скорости выхода электронов из полупроводника в раствор, а следовательно, и об увеличении скорости электрохимической реакции сульфидирования, что соответствует выводам модели [24].

При уменьшении концентрации сульфид-ионов в растворе в 100 раз вероятность образования химических связей атомов серы с атомами полупроводника уменьшается в 100 раз [24]. С другой стороны, при таком уменьшении концентрации заметно уменьшается щелочность раствора, т.е. концентрация протонов в растворе существенно возрастает, что приводит к увеличению скорости выхода электронов из полупроводника в раствор [24]. Поэтому тот факт, что время возрастания фотолюминесценции до стационарного значения уменьшается при разбавлении насыщенного раствора в 100 раз, также не противоречит модели [24] и свидетельствует о том, что уменьшение концентрации сульфид-ионов в растворе менее существенно сказывается на скорости реакции, чем сопутствующее уменьшение pH раствора.

Следует еще раз подчеркнуть, что уменьшение концентрации сульфид-ионов в растворе приводит к уменьшению стационарного значения интенсивности фотолюминесценции сульфидированного GaAs, а следовательно, к снижению эффективности сульфидной пассивации.

Тот факт, что с увеличением температуры сульфидирования при фиксированном времени обработки интенсивность фотолюминесценции возрастает (рис. 2), также соответствует выводам модели [24,27]. Существенное ускорение процесса сульфидной пассивации с увеличением температуры означает, что основными факторами, определяющими кинетику процесса, являются как разрыв поверхностных химических связей, в частности, при удалении окисного слоя, так и выход электронов из полупроводника в раствор. Действительно, данные рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (рис. 4) указывают на значительное снижение количества химических связей As-O при увеличении температуры обработки.

Следует отметить, что увеличение температуры сульфидирования приводит к возрастанию эффективности пассивации. Действительно, при обработке в насыщенном растворе сульфида натрия при комнатной температуре максимальная (стационарная) интенсивность фотолюминесценции составляла около $23 \div 25$ (рис. 1,а), в то время как при обработке в таком же растворе, но при 100°C , уже за 1 мин интенсивность возросла до $30 \div 35$ (рис. 2,а).

Тот факт, что работа выхода электронов с поверхности полупроводника при сульфидировании меняется практически мгновенно, свидетельствует об очень быстрой адсорбции сульфид-ионов на поверхности полупроводника [25]. Это также не противоречит данным рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (рис. 3,4), согласно которым повышение температуры сульфидирования, ускоряя процесс сульфидной пассивации, не приводит к изменению количества химических связей серы с поверхностными атомами полупроводника.

Итак, экспериментальные данные показывают, что в процессе сульфидной пассивации поверхности GaAs в водном растворе сульфида натрия происходит быстрая (за время менее 1 с) адсорбция сульфид-ионов на поверхности полупроводника с образованием ковалентных связей между сульфид-ионами и поверхностными атомами. При этом образуются новые поверхностные состояния, обусловленные этими химическими связями [28]. В дальнейшем, в ходе электрохимической реакции, кинетика которой зависит от состава и температуры сульфидного раствора, происходит удаление окислов мышьяка (окислы галлия удаляются значительно быстрее). Это удаление окислов мышьяка сопровождается удалением избыточных электронов с наиболее высоких заполненных поверхностных состояний; тем самым и осуществляется перестройка спектра поверхностных состояний, приводящая к пассивации поверхности полупроводника и повышению эффективности фотолюминесценции.

5. Заключение

Экспериментальные данные по кинетике пассивации GaAs(100) в водных растворах сульфида натрия полностью соответствуют опубликованной ранее [24] модели формирования сульфидного пассивирующего покрытия.

Показано, что интенсивность максимума фотолюминесценции сульфидированного полупроводника возрастает с увеличением температуры обработки и концентрации сульфид-ионов в растворе. С увеличением времени обработки в сульфидном растворе интенсивность максимума фотолюминесценции сначала возрастает, а затем выходит на насыщение, причем время выхода на насыщение зависит от щелочности раствора и в меньшей степени от концентрации в нем сульфид-ионов. Установлено, что с увеличением температуры сульфидирования уменьшается содержание окислов мышьяка на поверхности полупроводника, а окислы галлия на сульфидированных поверхностях не обнаруживаются. Возрастание интенсивности фотолюминесценции при сульфидной пассивации связывается главным образом с уменьшением содержания окислов на поверхности полупроводника.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить профессора Б.В.Паренкова за внимание и интерес к данной работе. Работа выполнена при частичной поддержке Международного научного фонда (грант R1V000) и Российского фонда фундаментальных исследований (грант N 95-03-09330).

Список литературы

- [1] C.J. Sandroff, R.N. Nottenburg, J.-C. Bischoff, R. Bhat. Appl. Phys. Lett., **51**, 33 (1987).
- [2] E. Yablonovitch, C.J. Sandroff, R. Bhat, T. Gmitter. Appl. Phys. Lett., **51**, 439 (1987).
- [3] J.-F. Fan, H. Oigawa, Y. Nannichi. Japan. J. Appl. Phys., **27**, L1331 (1988).
- [4] T. Tiedje, K.M. Kolbow, D. Rogers, Z. Fu, W. Eberhardt. J. Vac. Sci. Technol. B, **7**, 837 (1989).
- [5] Y. Fukuda, N. Sanada, M. Kuroda, Y. Suzuki. Appl. Phys. Lett., **61**, 955 (1992).
- [6] J.S. Herman, F.L. Terry, Jr. Appl. Phys. Lett., **60**, 716 (1992).
- [7] S. Kamiyama, Y. Mori, Y. Takahashi, K. Ohnaka. Appl. Phys. Lett., **58**, 2595 (1991).
- [8] L.F. DeChiaro, C. J. Sandroff. IEEE Trans. Electron. Dev., **39**, 561 (1992).

- [9] W.S. Hobson, U. Mohideen, S.J. Pearton, R.E. Slusher, F. Ren. *Electron. Lett.*, **29**, 2199 (1993).
- [10] A.J. Howard, C.I.H. Ashbey, J.A. Lott, R.P. Scheneider, R.F. Corless. *J. Vac. Sci. Technol. A*, **12**, 1063 (1994).
- [11] R. Iyer, R.R. Chang, D.L. Lile. *Appl. Phys. Lett.*, **53**, 134 (1988).
- [12] H. Oigawa, J.-F. Fan, Y. Nannichi, H. Sugahara, M. Oshima. *Japan. J. Appl. Phys.*, **30**, L322 (1991).
- [13] A.Y. Polyakov, M. Stam, A.G. Milnes, A.E. Bochkarev, S.J. Pearton. *J. Appl. Phys.*, **71**, 4411 (1992).
- [14] J.L. Leclercq, E. Bergignat, G. Hollinger. *Semicond. Sci. Technol.*, **10**, 95 (1995).
- [15] C.J. Sandroff, M.S. Hegde, C.C. Chang. *J. Vac. Sci. Technol. B*, **7**, 841 (1989).
- [16] M.S. Carpenter, M.R. Melloch, B.A. Cowans, Z. Dardas, W.N. Delgas. *J. Vac. Sci. Technol. B*, **7**, 845 (1989).
- [17] J. Shin, K.M. Geib, C.W. Wilmsen. *J. Vac. Sci. Technol. B*, **9**, 2337 (1991).
- [18] H. Sugahara, M. Oshima, R. Klausner, H. Oigawa, Y. Nannichi. *Surf. Sci.*, **242**, 335 (1991).
- [19] H. Hirayama, Y. Matsumoto, H. Oigawa, Y. Nannichi. *Appl. Phys. Lett.*, **54**, 2565 (1989).
- [20] K.M. Geib, J. Shin, C.W. Wilmsen. *J. Vac. Sci. Technol. B*, **8**, 838 (1990).
- [21] Z.S. Li, W.Z. Cai, R.Z. Su, G.S. Dong, D.M. Huang, X.M. Ding, X.Y. Hoy, X. Wang. *Appl. Phys. Lett.*, **64**, 3425 (1994).
- [22] X.Y. Hou, W.Z. Cai, Z.Q. He, P.H. Hao, Z.S. Li, X.M. Ding, X. Wang. *Appl. Phys. Lett.*, **60**, 2252 (1992).
- [23] V.L. Berkovits, V.N. Bessolov, T.V. L'vova, E.B. Novikov, V.I. Safarov, R.V. Khasieva, B.V. Tsarenkov. *J. Appl. Phys.*, **70**, 3707 (1991).
- [24] V.N. Bessolov, M.V. Lebedev, E.B. Novikov, B.V. Tsarenkov. *J. Vac. Sci. Technol. B*, **11**, 10 (1993).
- [25] B.H. Бессолов, С.Г. Ершов, А.Ф. Иванков, М.В. Лебедев. *ФТТ*, **36**, 3601 (1994).
- [26] J.F. Moulder, W.F. Stickle, P.E. Sobol, K.D. Bomben. *Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy*, ed. by J.Chastain (Perkin-Elmer Corp., 1992).
- [27] B.H. Бессолов, М.В. Лебедев, Т.В. Львова, Е.Б. Новиков. *ФТТ*, **34**, 1713 (1992).
- [28] T. Ohno. *Phys. Rev. B*, **44**, 6303 (1991).

Редактор Л.В. Шаронова

Kinetics of GaAs (100) surface passivation in sodium sulphide aqueous solutions

V.N.Bessolov, A.F.Ivanov, E.V.Konenkova, M.V.Lebedev, V.S.Strykanov

A.F.Ioffe Physicotechnical Institute, Russian Academy of Sciences, 194021 St.Petersburg, Russia

GaAs(100) photoluminescence intensity variation due to surface passivation in sodium sulphide aqueous solution has been studied as a function of treatment time, temperature and sulphide solution composition. As the treatment time rises, the photoluminescence maximum intensity at first increases and afterwards gains saturation, of which the time depends on the pH-index and the sulphide ion concentration in the solution. At a fixed time of treatment, the luminescence maximum intensity rises with temperature of sulphidizing. Data of X-ray photoelectron spectroscopy study of the sulphidized surfaces show, first, that Ga-S bonds are available here and, secondly, that as the sulphidizing temperature rises, the content of arsenic oxides on the semiconductor surface decreases. The increase in the photoluminescence intensity under sulphide passivation is associated with the decrease in the content of these oxides.