

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

М. М. БРЕДОВ, Р. Ф. КОМАРОВА и А. Р. РЕГЕЛЬ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ВЫПРЯМЛЯЮЩИХ СВОЙСТВ
ТОЧЕЧНОГО КОНТАКТА МЕТАЛЛ — ПОЛУПРОВОДНИК
ПОД ВЛИЯНИЕМ ОБЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКА ИОНАМИ
ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ**

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 14 VI 1954)

Имеющиеся методики исследования влияния примесей на электрические свойства полупроводников вообще и на их поверхностные слои, ответственные за выпрямляющее действие точечных контактов металл — полупроводник, в частности, являются весьма грубыми в части способов внедрения исследуемых примесей в полупроводник. Качественный, а тем более количественный состав вводимых примесей может быть оценен обычно только весьма приблизительно. Представляется поэтому целесообразным использовать в качестве метода внедрения в поверхностный слой полупроводника тех или иных, но вполне определенных примесей, облучение поверхности полупроводника ионным пучком, получаемым от масс-монохроматора. Регистрация ионного тока может дать достаточно точный количественный критерий интенсивности облучения.

В настоящей работе мы преследовали главным образом цель выяснить возможности применения такой методики и пути ее использования. Мы воспользовались поэтому хорошо известными и надежно работающими источниками ионов щелочных металлов, действующими на принципе поверхностной ионизации (одним из авторов был ранее описан источник такого типа ⁽¹⁾). Приведенные далее результаты были получены при облучении германия *n*-типа ионами калия.

Краткое описание установки. Общая блок-схема установки приведена на рис. 1. Пучок ионов калия ускорялся в источнике 1 до энергии 1—4 кэв и пропусклся через 90-градусный масс-монохроматор 3 с радиусом кривизны основной траектории 45 см. Разрешающая сила масс-монохроматора обеспечила разрешение изотопов калия. Выделенный масс-монохроматором пучок ионов поступал в приемную камеру 4, устройство которой показано отдельно на рис. 2. Измерение

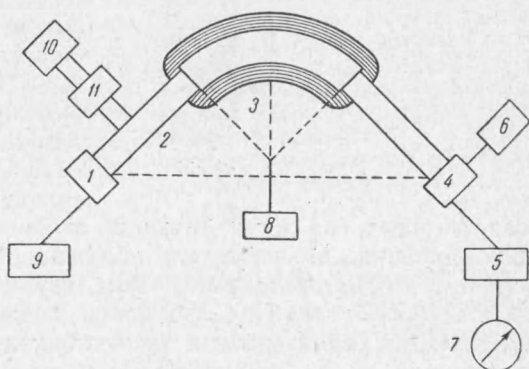


Рис. 1. Блок-схема установки. 1 — ионный источник, 2 — камера анализатора, 3 — электромагнит, 4 — рабочая камера, 5 — электрометр, 6 — схема для снятия детекторных характеристик, 7 — микроамперметр, 8 — схема питания магнита, 9 — схема ускоряющего напряжения, 10 — форвакуумный насос, 11 — диффузионный насос

ионного тока производилось посредством лампового электрометра 5 и могло осуществляться в диапазоне от 10^{-6} до 10^{-14} а.

Конструкция приемной камеры (см. рис. 2) обеспечивала возможность последовательной экспозиции 6 образцов без нарушения вакуума за счет поворота на шлифе барабана с гнездами со вставленными в них образцами, а также снятие детекторных характеристик образцов под вакуумом посредством зонда, смонтированного в самой камере на специальном сильфонном приводе с

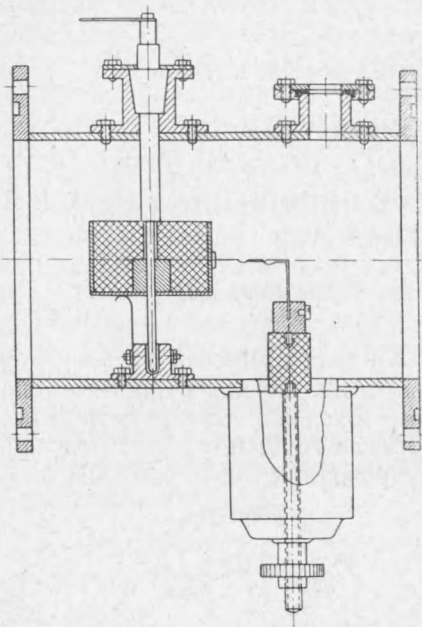


Рис. 2. Рабочая камера

двумя степенями свободы. Снятие детекторных характеристик производилось посредством обычной схемы, применяемой в таких случаях (6).

Результаты измерений. Для сопоставления результатов различных опытов между собой мы ввели меру экспозиции образца γ , равную числу атомных слоев калия, которое образовалось бы на поверхности образца, если бы ионы за время экспозиции просто осаждались на поверхности образца с интенсивностью, определяемой величиной ионного тока, и с поверхностной плотностью, соответствующей поверхностной плотности атомов германия; эту величину γ мы в дальнейшем будем называть степенью покрытия.

Первая группа экспериментов была направлена на выяснение вопроса о том, возможно ли вообще посредством облучения ионами калия столь относительно малых энергий

воздействовать на детектирующие свойства точечного контакта металл — полупроводник. С этой целью облучению ионами подвергалось несколько образцов германия с различным характером предварительной поверхностной обработки. Производилось снятие и сопоставление между собой детекторных характеристик таких образцов до облучения ионами и непосредственно после облучения без нарушения вакуума в установке.

Результаты опытов воспроизведены на рис. 3 А. Отчетливо видно, что при предварительных обработках, сводящихся к шлифовке или шлифовке и последующей полировке образца, облучение его не приводит к существенным изменениям детектирующих свойств контакта. Наоборот, в образцах, облученных после полного цикла обработки, заключавшегося в шлифовке, полировке пастой ГОИ и травления в течение 10 мин. в 30% растворе перекиси водорода, наблюдалось резкое уменьшение (примерно в 10 раз) отношения коэффициента выпрямления к коэффициенту необлученного образца. Относительная погрешность измерений токов составляла $\sim 30\%$. Таким образом, действие ионов калия на детектирующие свойства точечного контакта металл — германий действительно наблюдается, но при определенном характере предварительной обработки поверхности германия

Вторая группа опытов ставила своей целью выяснить устойчивость полученных изменений коэффициента выпрямления. С этой целью облучению подверглась серия образцов, прошедших указанный выше полный цикл предварительной обработки. При этом от образца к образцу менялась энергия ионов в диапазоне от 2 до 4 кэВ и степень покрытия γ . Детекторные характеристики снимались как до облучения образцов, так и после облучения в вакууме и после вынесения образца на воздух.

В некоторых случаях облученные образцы после вынесения на воздух подвергались повторной обработке в перекиси водорода, и детекторная характеристика снималась и после такой повторной обработки.

Оказалось, что устойчивость наблюдающегося при измерениях в вакууме резкого уменьшения коэффициента выпрямления зависит существенным образом от энергии ионов и степени покрытия. Так, при малых степенях покрытия $\gamma \sim 5$ и меньше и при относительно небольших энергиях ионов порядка 2—2,5 кэв эффект уменьшения коэффициента выпрямления, получающийся при облучении, оказывается настолько устойчивым, что не наблюдается восстановления коэффициента выпрямления не только при вынесении образца на воздух, но и при повторном травлении в перекиси водорода. При больших же степенях покрытия γ и при любых энергиях ионов или, наоборот, при больших энергиях ~ 4 кэв и любых степенях покрытия достаточно вынести образец на воздух, чтобы восстановилось значение коэффициента выпрямления, имевшее место до облучения образца.

Результаты этой группы опытов воспроизведены в табл. 1 (k_B — коэффициент выпрямления облученного образца после вынесения на воздух; k_H — коэффициент выпрямления необлученного образца).

В следующей группе опытов исследовалась зависимость эффекта уменьшения коэффициента выпрямления при облучении от энергии ионов. Характер этой зависимости иллюстрируется кривой рис. 3 Б*. Наиболее заслуживающим внимания обстоятельством оказывается то, что при энергиях ионов 1 кэв и меньше ни при каком времени экспозиции и интенсивностях ионных пучков (вплоть до $\gamma \sim 50$) и ни при каких предварительных обработках поверхности образца не удается обнаружить действия облучения на коэффициент выпрямления.

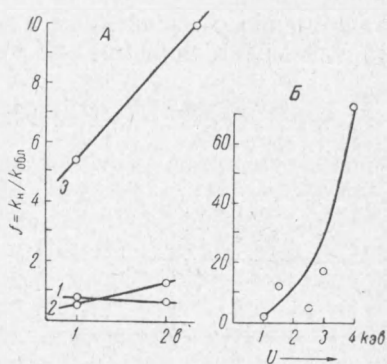


Рис. 3. Отношение коэффициента выпрямления до облучения к коэффициенту после облучения. А — при различных предварительных обработках при энергии ионов $U = 2,5$ эв, Б — в зависимости от энергии ионов. 1 — образец, шлифованный на мелкой наждачной бумаге, $\gamma = 2$; 2 — образец, полированный пастой ГОИ, $\gamma = 11$; 3 — образец после полной обработки (шлифовка, полировка, травление 10 мин. в 30% H_2O_2), $\gamma = 5$

Обсуждение результатов

Из приведенных серий опытов можно считать достаточно достоверно установленными три следующих факта.

1. Облучение германия ионами калия при определенных условиях, а именно при обработке его поверхности, заключающейся в последовательной шлифовке, полировке и травлении в перекиси водорода, резко влияет на коэффициент выпрямления точечного контакта вольфрам — германий в сторону уменьшения выпрямляющего действия.

2. Этот эффект при относительно малых энергиях ионов и малой экспозиции оказывается устойчивым, т. е. коэффициент выпрямления не восстанавливается при вынесении образца на воздух и последующем травлении в перекиси водорода в течение 10 мин.

3. С уменьшением энергии ионов эффект уменьшается, и при энергии порядка 1 кэв ни при каких экспозициях не удается обнаружить действия пучка ионов на выпрямляющие свойства контакта.

* Точка, соответствующая энергии 1 кэв, имеет относительную статистическую погрешность на порядок величины меньшую, чем остальные точки.

Описываемые в статье опыты носят предварительный характер, и совокупность фактов недостаточна для сколько-нибудь надежных обобщений. Однако в порядке предположений можно высказать следующие замечания.

Действие атомов калия при внедрении их в поверхностный слой образца германия в каком-то отношении, очевидно, обратно действию атомов кислорода, если считать, что повышение коэффициента выпрямления, имеющее обычно место при травлении в перекиси водорода, связано именно с внедрением атомов кислорода в поверхностный слой. На это указывает, повидимому, первый из перечисленных фактов.

Таблица 1

Восстановление коэффициента выпрямления облученного образца после вынесения на воздух

Энергия в кэв	γ	k_B/k_H
2,5	5	2,5
2,5	20	36
4	3	104

Далее, если считать, что это предположение правильно, то второй факт, т. е. устойчивость уменьшения коэффициента выпрямления при определенных условиях, указывает на то, что внедрение калия происходит на довольно большую глубину, так что последующая обработка поверхности перекисью водорода не может восстановить эффект выпрямления. Восстановление же эффекта выпрямления после повторной обработки в перекиси водорода после облучения при больших энергиях ионов или после длительных облучений можно считать связанным с уменьшением толщины затронутого первоначальной обработкой в перекиси водорода поверхностного слоя за счет катодного распыления. В пользу такой схемы объяснения явления говорит как будто и ход зависимости эффекта от энергии ионов, который можно пытаться интерпретировать как результат увеличения с энергией глубины проникновения ионов калия в поверхностный слой, ответственный за выпрямление.

Поскольку за выпрямление ответственна, повидимому, граница между обработанным перекисью водорода поверхностным слоем и основной толщей полупроводника, то при глубине проникновения ионов, недостаточной для достижения этой границы, эффект должен отсутствовать.

Естественно, что пока не определена количественно глубина проникновения ионов калия при облучении поверхности и не выяснена толщина слоя, получающегося при предварительной обработке в перекиси водорода, а также не измерен коэффициент катодного распыления для этого случая, остаются возможности для построения и других схем объяснения совокупности приведенных фактов.

Основным выводом из данной предварительной работы является, естественно, не изложенная схема, а констатация возможности применения предлагаемой методики для исследования поверхностных слоев полупроводников. Этот вывод следует считать однозначным.

Авторы считают приятным долгом выразить признательность В. П. Жузе за интерес к работе и дискуссию.

Лаборатория полупроводников
Академии наук СССР

Поступило
6.V 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. М. Бредов, ЖТФ, 20, 4, 476 (1950).