

05.3

© 1990

ИОННЫЙ СИНТЕЗ СКРЫТЫХ СЛОЕВ НИТРИДА КРЕМНИЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕРЫВИСТОГО  
РЕЖИМА ИМПЛАНТАЦИИО.И. В ы л е т а л и н а, А.Б. Д а н и л и н,  
К.А. Д р а к и н, А.А. М а л и н и н,  
В.Н. М о р д к о в и ч, А.Ф. П е т р о в

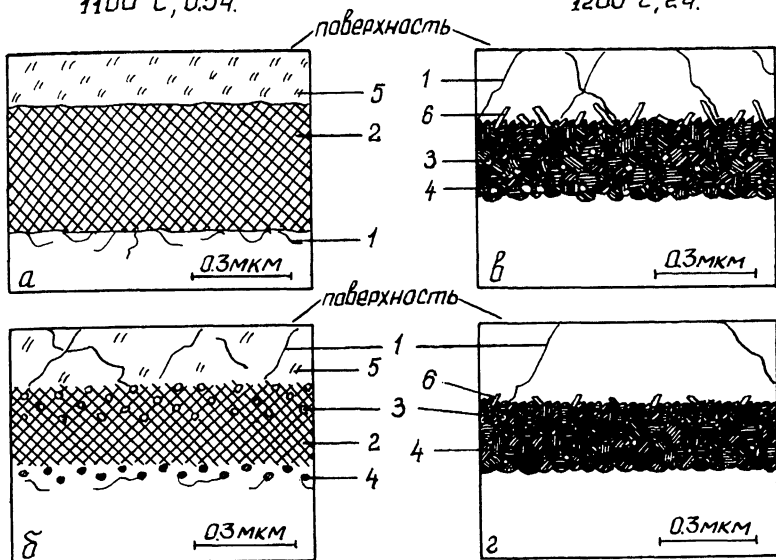
Температура подложки при ионном синтезе скрытых диэлектрических слоев оказывает решающее воздействие как на свойства скрытого диэлектрика, так и на структурное совершенство поверхностного слоя кремния [1]. Повышенная температура имплантации позволяет избежать накопления радиационных дефектов в слое кремния, однако одновременно ускоряет процессы роста включений диэлектрической фазы. В результате формируется грубодисперсная структура с изолированными островками кремния. Перестройка данной структуры с целью достижения сплошности скрытого слоя затруднена и требует длительной высокотемпературной термообработки [2]. Поэтому необходим поиск таких температурных режимов имплантации, при которых обеспечивается не только структурное совершенство поверхностного слоя кремния, но и формируется скрытый слой новой фазы, постимплантационная перестройка которого упрощена. Целью данной работы явилось исследование процесса синтеза скрытого слоя нитрида кремния в условиях, когда высокотемпературная имплантация прерывалась и часть дозы набиралась в нестационарных по температуре условиях радиационного разогрева.

В экспериментах использовался Si (100), p-типа, 4.5 Ом·см. Средняя плотность ионного тока составляла 25 мкА/см<sup>2</sup>. Температура подложки в стационарном режиме составляла ~400 °С и была обусловлена радиационным нагревом. Имплантацию ионов азота с энергией 150 кэВ и полной дозой  $5.0 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup> проводили тремя способами: а) в непрерывном режиме; б) с остановкой на 15 мин в середине процесса; в) с остановками на 5 мин после каждого шага по дозе  $5.0 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>. Постимплантационную термообработку осуществляли при температурах 1100 °С (0.5 ч) и 1200 °С (2 ч.) в протоке сухого азота. Образцы для электронно-микроскопических исследований готовили методом поперечного сечения [3].

Из сравнения рис. 1, а и 1, б видно, что в случае непрерывного режима имплантации формируется обычный в данном случае [4] скрытый слой, состоящий из смеси включений  $Si_3N_4$  и  $Si$ , в то время как прерывание процесса имплантации приводит к изменению толщины скрытого слоя, увеличено приблизительно на 400 Å

1100 °C, 0.5 ч.

1200 °C, 2 ч.



Схематическое изображение структур со скрытыми слоями: а и в – непрерывный режим имплантации; б – с перерывом на 15 мин. после набора половины дозы; г – с перерывами на 5 мин. после набора дозы  $5.0 \cdot 10^{16}$  ион/см<sup>2</sup>, а, б – 1100 °C (0.5 ч.); в, г – 1200 °C (2 ч.). 1 – дислокация, 2 – аморфная фаза, 3 – кристаллизация Si, 4 – кристаллиты Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, 5 – сильно поврежденный Si, 6 – микродвойники.

толщины поверхностного слоя Si и началу кристаллизации в скрытом слое. При этом начало кристаллизации скрытого слоя наблюдается на глубине соответствующей максимальной концентрации радиационных дефектов. Увеличение температуры и длительности термообработки приводит к повышению структурного совершенства поверхностного слоя Si. Толщина данного слоя в случае прерывистой имплантации также возрастает на 400 Å в сравнении с образцом облученным в непрерывном режиме и достигает ~2150 Å (рис. 1, в, г). Прерывистый режим имплантации обеспечивает полную кристаллизацию скрытого слоя Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. В результате формируется поликристаллический скрытый слой, характерный для использования дозехимических доз ионов азота и длительного пятичасового отжига при температуре 1200 °C [5]. Обращает на себя внимание, что и для более высокой температуры отжига кристаллизация скрытого слоя идет от верхней границы.

Известно, что процесс кристаллизации дисперсных твердофазных химических соединений может быть ускорен путем введения вакансионных дефектов, а также развитием полидисперсности фазы [6]. Вакансионные дефекты в случае прерывистого набора дозы могут

носиться как в слой кремния, так и в верхнюю часть скрытого слоя на низкотемпературных стадиях имплантации, имеющих место в начальный момент проведения процесса после очередной остановки. Обычно время выхода на стационарную температуру при радиационном разогреве составляет 1–2 мин [7]. При используемой величине плотности ионного тока концентрация запасенных дефектов может оказаться значительной. Последующая эмиссия вакансий в объем приводит, с одной стороны, к ускоренной диффузии атомов азота в область скрытого слоя и, следовательно, к увеличению толщины поверхностного слоя  $Si$  и повышению его структурного совершенства, а с другой стороны – к ускоренному росту кристаллитов в верхней части скрытого слоя. Подтверждением данной точки зрения является тот факт, что характерная глубина наблюдаемых эффектов  $\sim 0.7 R_p$  соответствует глубине генерации максимальной концентрации радиационных дефектов [8] ( $R_p$  – проективный пробег ионов азота). Возможно также, что на низкотемпературных стадиях из-за малой скорости массопереноса формируются включения  $Si_3N_4$  малого размера, и тем самым происходит увеличение полидисперсности системы, что также ускоряет процесс перестройки скрытого слоя.

Таким образом, показано, что прерывистый режим имплантации может существенно ускорять формирование скрытых слоев новой фазы при ионном синтезе. Детальное исследование таких процессов позволит повысить эффективность ионного синтеза.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Br u e l M., M a r g a i l J., S t o e m e - n o s J., M a r t i n P., J a u s s a u d C. // Vacuum. 1985. V. 35. N 12. P. 589-593.
- [2] S t o e m e n o s J. and M a r g a i l J. // Thin Solid Films. 1986. V. 135. N 4. P. 115-127.
- [3] М а л и н и н А.А., Р е з н и к В.Я. // Приборы и техника эксперимента. 1988. № 5. С. 126-128.
- [4] P e t r u z z e l l o J., M c G e e T.F., F r o m m e r M.H., R u m m e n i c V., W a l t e r s P.A. and C h o u C.J. // J. Appl. Phys. 1985. V. 58. N 12. P. 4605-4613.
- [5] S k o r u p a W., K r e i s s i g U., W o l l - s c h l ä g e r K., H e n s e l E., B a r t s c h H. // Nucl. Instrum. Meth. 1987. В 19/20. P. 285-289.
- [6] Физическая химия силикатов / Под ред. А.А. Пашенко. М.: Высшая школа, 1986. 386 с.
- [7] Д а н и л и н А.Б., С а м с о н о в Е.Н., Т и м о ф е - е в П.А. // Электронная техника. Микроэлектроника. 1979. Сер. 3. В. 280. С. 84-90.

Институт проблем  
технологии микроэлектроники  
и особочистых материалов  
АН СССР, Черноголовка

Поступило в Редакцию  
28 марта 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 22

26 ноября 1990 г.

01; 02

© 1990

### АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В РЕЗОНАНСНЫХ ОЖЕ РАСПАДАХ

М.Я. А м у с ь я, В.А. К и л и н,  
И.С. Л и

Недавно в работах [1, 2] было обнаружено необычное поведение углового распределения электронов, испускаемых в резонансных оже переходах (РОП) в атомах  $Ar$ ,  $Kr$  и  $Xe$ . Оказалось, что при распаде резонансно возбужденных  $2p^{-1} 4s$  ( $Ar$ ),  $3d^{-1} 5p$  ( $Kr$ ) и  $4d^{-1} 6p$  ( $Xe$ ) состояний (возбуждение производилось линейно-поляризованными фотонами) практически не наблюдаются электроны, вылетающие в направлениях, параллельных или антипараллельных направлению пучка налетающих фотонов. Следствием такого „аномального“ поведения углового распределения электронов является то, что в ряде РОП параметры угловой анизотропии  $\beta$  оказываются порядка  $-1$ . Например, в  $2p^{-1} 4s \rightarrow 3p^{-2} 4s + q$  переходе ( $Ar$ )  $\beta = -0.69$  [2].

В данной работе впервые показано, что при использовании линейно-поляризованных фотонов для возбуждения начального состояния параметры угловой анизотропии некоторых РОП должны равняться строго минус единице. В схеме  $L S$ -связи полученный нами результат оказывается не зависящим от динамики Оже распада, т.е. от амплитуды РОП.

Начальное состояние в РОП содержит одну вакансию (дырку) во внутренней оболочке и один электрон на дискретном уровне. Непосредственное участие в Оже распаде принимает только внутренняя вакансия, которая заполняется электроном одной из внешних оболочек, и освободившаяся энергия уносится другим электроном. Электрон на дискретном уровне при этом остается в прежнем состоянии. Таким образом, конечное состояние в РОП содержит две вакансии и два электрона - в дискретном и непрерывном спектрах. В легких