

氏名 (本籍) 青野 祐美 (愛知県)

学位の種類 博士(工学)

学位記号番号 甲 第 172 号

学位授与年月日 平成14年 3月25日

専攻 電子情報システム工学専攻

学位論文題目 アモルファス窒化炭素薄膜の作製とULSI用層間絶縁膜への検討
 (The preparation of amorphous carbon nitride thin films
 and their application to the interlayer insulator for
 ultra-large scale integrated circuits)

学位論文審査委員 (主査) 教授 仁田 昌二
 (副査) 教授 清水 宏 晏 教授 安田 直彦
 助教授 伊藤 貴司 講師 羽瀬 仁恵

論文内容の要旨

本論文においては、申請者は次世代のULSI(大規模集積回路)用低誘電率媒体として、新素材アモルファス窒化炭素薄膜 $a\text{-CN}_x$ を提案・創製・検討した。

電子素子の小型化に伴ってここ7~10年前から SiO_2 の比誘電率 $\epsilon \sim 4$ よりも小さい低誘電率媒体を見つける必要が出てきた。2.3 $<\epsilon<4$ に関しては候補が沢山出てきて検討されているが、 $\epsilon < 2.3$ の低誘電率媒体に関してはテフロンとアモルファスC-F系材料の提案があるが、色々な問題点があり、新しい材料が期待されていた。

C-N系材料は SiO_2 と Si_3N_4 の誘電率の比較から類推してC-N系材料は低誘電率媒体として向かないと言うのが世界の学会の暗黙の了解になっていた。

申請者はこれに対して $a\text{-CN}_x$ の窒素含有量 x を増加させるとSiの場合とは違った傾向が見えることに気づき、低誘電率媒体としての可能性を提案した。

申請者が採った $a\text{-CN}_x$ の低誘電率化の基本的方法は主に以下の2点である；

(a). 窒素ラディカル・スパッタ法によって作る $a\text{-CN}_x$ の窒素含有率を増加させる。この方法は基板温度を増加させることによって低誘電率化の傾向が出る。しかし $\epsilon < 2.3$ を目がけるには基板温度を500℃以上にする必要があり、ULSIに応用するには低温化が出来る方法がより望まれる。そこで申請者は次の方法を検討した。

(b). 原子状水素による $a\text{-CN}_x$ 表面処理を行うと誘電率をさらに低下させることが見いだされた。原子状水素の効果を有効にするため、極薄膜(膜厚： d_f)の $a\text{-CN}_x$ を作製しては原子状水素で処理するレイヤー・バイ・レイヤー法を計算機制御によって行なわれた。この方法で作成された窒化炭素をLLa- CN_x と呼ぶ。

これらの $a\text{-CN}_x$ とLLa- CN_x の誘電率を可視光吸収スペクトル、赤外光吸収スペクトル

のクラマース・クローニツヒ変換および1 MHzでの電気容量を求めることによって、電子分極、イオン分極、双極子分極にもとづく誘電率の成分を分析し、低誘電率化には(a)を検討し、さらに(b)で d_1 を小さくとることによって誘電率が1.9が得られた。この結果は $\epsilon < 2.3$ の低誘電率媒体の領域に入っており、近未来のULSIに応用することが可能であることを示した。

低誘電率媒体としては誘電率以外にも必要とされる機械的性質、電極金属との反応性、耐湿性、耐熱性、絶縁破壊強度、の研究が必要である。申請者はこれらの問題にも精力的に研究し $a\text{-CN}_x$ および $LLa\text{-CN}_x$ が低誘電率媒体として実用化の可能性のあることを示した。また $a\text{-CN}_x$ と $LLa\text{-CN}_x$ のミクロな構造と電子構造についてを原子間顕微鏡、X線光電子分光法、走査電子顕微鏡、ラマン分光法を用い知見を得ている。

論文審査結果の要旨

本論文においては、申請者は次世代のULSI(大規模集積回路)用低誘電率媒体として、新素材アモルファス窒化炭素薄膜 $a\text{-CN}_x$ を提案・創製・検討した。

電子素子の小型化に伴ってここ7~10年前から SiO_2 の比誘電率 $\epsilon \sim 4$ よりも小さい低誘電率媒体を見つける必要が出てきた。 $2.3 < \epsilon < 4$ に関しては候補が沢山出てきて検討されているが、 $\epsilon < 2.3$ の低誘電率媒体に関してはテフロンとアモルファスC-F系材料の提案があるが、色々な問題点があり、新しい材料が期待されていた。

C-N系材料は SiO_2 と Si_3N_4 の誘電率の比較から類推してC-N系材料は低誘電率媒体として向かないと言うのが世界の学会の暗黙の了解になっていた。

申請者はこれに対して $a\text{-CN}_x$ の窒素含有量 x を増加させるとSiの場合とは違った傾向が見えることに気づき、低誘電率媒体としての可能性を提案した。

申請者が採った $a\text{-CN}_x$ の低誘電率化の基本的方法は主に以下の2点である；

(a). 窒素ラディカル・スパッタ法によって作る $a\text{-CN}_x$ の窒素含有率を増加させる。この方法は基板温度を増加させることによって低誘電率化の傾向が出る。しかし $\epsilon < 2.3$ を目がけるには基板温度を500℃以上にする必要があり、ULSIに応用するには低温化が出来る方法がより望まれる。そこで申請者は次の方法を検討した。

(b). 原子状水素による $a\text{-CN}_x$ 表面処理を行うと誘電率をさらに低下させることが見いだされた。原子状水素の効果を有効にするため、極薄膜(膜厚： d_1)の $a\text{-CN}_x$ を作製しては原子状水素で処理するレイヤー・バイ・レイヤー法を計算機制御によって行なわれた。この方法で作成された窒化炭素を $LLa\text{-CN}_x$ と呼ぶ。

これらの $a\text{-CN}_x$ と $LLa\text{-CN}_x$ の誘電率を可視光吸収スペクトル、赤外光吸収スペクトルのクラマース・クローニツヒ変換および1 MHzでの電気容量を求めることによって、電子分極、イオン分極、双極子分極にもとづく誘電率の成分を分析し、低誘電率化には(a)を検討し、さらに(b)で d_1 を小さくとることによって誘電率が1.9が得られた。この

結果は $\varepsilon < 2.3$ の低誘電率媒体の領域に入っており、近未来の ULSI に一石を投じたものと考えられる。

低誘電率媒体としては誘電率以外にも必要とされる機械的性質、電極金属との反応性、耐湿性、耐熱性、絶縁破壊強度、の研究が必要である。申請者はこれらの問題にも精力的に研究し a-CN_x および LLa-CN_x が低誘電率媒体として実用化の可能性を示した。また a-CN_x と LLa-CN_x のミクロな構造と電子構造についてを原子間顕微鏡、X線光電子分光法、走査電子顕微鏡、ラマン分光法を用い知見を得ている。

以上のように申請者は近未来の ULSI に期待されている低誘電率媒体としてアモルファス窒化炭素を提案・創製・探求し、応用への可能性を示した。この結果は十分に博士(工学)に値すると判定し、合格とした。

最終試験結果の要旨

最終試験結果は優秀であり、合格と判定した。